



TUGAS AKHIR - MO141326

***Analisa Stabilitas Support pada Crossing Pipeline antara
Pipa dari MILA-A ke Platform BANUWATI***

RIZQI HAFIDHUDDIN ZAMANI

NRP. 04311240000084

Dosen Pembimbing

Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

**Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**



FINAL PROJECT - MO141326

Support Stability Analysis on Crossing Pipeline between Pipe from MILA-A to BANUWATI Platform

RIZQI HAFIDHUDDIN ZAMANI

NRP. 04311240000084

Supervisors

Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

**ANALISA STABILITAS SUPPORT PADA CROSSING PIPELINE
ANTARA PIPA DARI MILA-A KE PLATFORM BANUWATI**

**HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZQI HAFIDHUDDIN ZAMANI
NRP. 04311240000084

Disetujui oleh :

Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Pembimbing I)

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)

Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji I)

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji II)

SURABAYA, JULI 2018

Analisa Stabilitas *Support* pada *Crossing Pipeline* antara Pipa dari MILA-A ke *Platform* BANUWATI

Nama : Rizqi Hafidhuddin Zamani
NRP : 04311240000084
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Dengan banyaknya jalur pipa yang dibuat, besar pula kemungkinan suatu jalur pipa akan melintasi jalur pipa yang lain. *Crossing* pipa antara *existing* dengan pipa yang baru dapat dihindari dengan cara membuat rute jalur pipa yang baru. Pembuatan jalur pipa yang baru mungkin akan menghabiskan tambahan biaya dan waktu. Jika jalur pipa yang baru ditentukan untuk melewati jalur *existing* pipa, maka resiko yang ditimbulkan harus dianalisa karena akan mempengaruhi pipa *existing* dan juga pipa yang baru.

Analisa yang dilakukan harus memperhatikan bahwa kedua pipa yang bersilangan tetap dalam kondisi aman. Kriteria aman yang ditentukan adalah jarak minimum vertikal antar pipa yang bersilangan. Jarak minimum vertikal yang ditetapkan adalah 0,3 meter (DNV OS-F101). Untuk itu perlu dilakukan analisa terhadap *support* pada *crossing* yang terjadi. Setelah dilakukan analisa, pipa dan *support* pada lokasi *crossing* memenuhi *safety factor* yang telah ditentukan dan jarak aman (*clearance*) dengan *existing line* sebesar 538,05 mm pada *support* dengan tinggi 1200 m dan 354,8 mm pada *support* dengan tinggi 600 mm juga masih terpenuhi.

Kata kunci: *Pipeline, Settlement, Crossing*

Support Stability Analysis on Crossing Pipeline between Pipes from MILA-A to BANUWATI Platform

Name : Rizqi Hafidhuddin Zamani
NRP : 04311240000084
Department : Teknik Kelautan FTK - ITS
Supervisor : Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

ABSTRACT

With many pipelines being built, it is also possible that a pipeline will cross another pipeline. Crossing pipes between existing and new pipes can be avoided by creating new pipeline routes. The creation of a new pipeline may cost an additional and time. If the new pipeline is determined to pass through the existing pipeline, then the risk must be analyzed as it will affect the existing pipeline and also the new pipe.

The analysis should be observed that the two crossed pipes remain in safe condition. The prescribed safe criterion is the vertical minimum distance between the crossed pipes. The specified vertical minimum distance is 0.3 meters (DNV OS-F101). For that we need to analyze the support on the crossing that occurred. After analysis, pipes and support at the crossing site meet the specified safety factor and clearance with the existing line of 538.05 mm at support with 1200 m and 354.8 mm height at support with high 600 mm also still fulfilled.

Kata kunci: *Pipeline, Settlement, Crossing*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yangtelah memberikan segala rahmat, karunia dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik, lancar dan tepat waktu. Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Stabilitas *Support* pada *Crossing Pipeline* antara Pipa dari MILA-A ke *Platform BANUWATI*”** ini dapat terselesaikan dengan banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini menitikberatkan pada analisa stabilitas *support* dan *settlement* pada lokasi *crossing pipeline*

Penulis menyadari terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara moral maupun material dan secara langsung maupun tidak langsung. Sehingga pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan berkah, rezeki, petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Kedua orang tua penulis dan adik penulis atas segala kasih sayang yang kalian curahkan serta doa yang tidak pernah putus.
3. Bapak Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing pertama yang selalu dengan sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang selalu membimbing penulis dalam urusan selama penyelesaian Tugas Akhir.
5. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang selalu dengan sabar memberikan nasihat dan arahan dari awal hingga akhir perkuliahan.
6. Bapak-bapak dosen penguji yang telah memberikan masukan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Semua teman-teman Varuna yang selalu memberikan dukungan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Analisa	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Sistem Pipa Bawah Laut.....	8
2.2.2 Kondisi Pembebanan	8
2.2.3 Jenis-jenis pembebanan	9
2.2.3 Berat Terendam Pipa	10
2.2.4 Beban Gelombang	11
2.2.5 Stabilitas Pipa	13
2.2.6 <i>Reynolds Number</i>	15
2.2.7 <i>Support Pipeline</i>	15
2.2.8 Stabilitas Pondasi.....	19
2.2.9 <i>Immediate Settlement</i>	20
2.2.10 <i>Consolidation Settlement</i>	21
BAB III	23
METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	25
3.2.1 Perumusan Masalah.....	25

3.2.2 Studi Literatur dan Daftar Pustaka.....	25
3.2.3 Pengumpulan Data	25
3.2.4 Menghitung <i>Submerge Weight</i> Pipa dan <i>Support</i>	25
3.2.5 Perhitungan <i>Bearing Capacity</i>	25
3.2.6 Perhitungan Stabilitas <i>Support</i>	25
3.2.7 Perhitungan <i>Settlement</i> pada <i>Support</i> Pipa	26
3.2.8 Kesimpulan dan Saran	26
BAB IV	27
4.1 Pengumpulan Data.....	27
4.1.1 Data Pipa	27
4.1.2 Data Lingkungan	28
4.1.3 Data <i>Support</i>	29
4.1.4 Desain <i>Crossing</i>	31
4.2 Analisa Stabilitas Pipa	32
4.2.1 Analisa Stabilitas Vertikal	32
4.2.2 Analisa Stabilitas Lateral	33
4.3 Analisa Stabilitas <i>Support</i>	34
4.3.1 Perhitungan Volume dan Berat Terendam <i>Support</i>	34
4.3.2 Analisa <i>Overtuning</i>	35
4.3.3 Analisa <i>Sliding</i>	37
4.4 Analisa <i>Bearing Capacity</i>	38
4.5 Analisa Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>).....	39
BAB V	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	
LAMPIRAN GAMBAR	
LAMPIRAN PERHITUNGAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta lokasi field banuwati	2
Gambar 1.2 Peta lokasi pipa yang bersilangan.....	3
Gambar 1.3 Clearance pada <i>crossing pipeline</i>	3
Gambar 2.1 Gambaran pipa.....	11
Gambar 2.2 Region of Validity of Wave Theory	12
Gambar 2.3 Gaya hidrodinamika pada pipa	14
Gambar 2.4 Bentuk <i>support</i> meminimalkan berat.....	16
Gambar 2.5 Bentuk <i>support</i> lainnya	16
Gambar 2.6 Gaya yang terjadi pada <i>support</i>	17
Gambar 2.7 Ilustrasi pondasi dangkal	19
Gambar 2.8 Pengaruh tapak pada tanah	20
Gambar 4.1 Tampak depan <i>support</i>	30
Gambar 4.2 Tampak samping <i>support</i>	31
Gambar 4.3 Desain <i>crossing</i> untuk KARMILA-A.....	31
Gambar 4.4 Desain <i>crossing</i> untuk <i>subsea cable</i>	32
Gambar 4.5 Gaya horizontal yang bekerja	35
Gambar 4.6 Gambar <i>overturning moment</i>	36
Gambar 4.7 Gaya yang menahan struktur	37
Gambar 4.8 Gambar gaya gerak dan gaya gesek.....	37
Gambar 4.9 Grafik penurunan tanah pada <i>support</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel menentukan h/L_o	13
Tabel 3.2 Koefisien Hidrodinamis	15
Tabel 3.3 Koefisien <i>Drag</i>	18
Tabel 3.4 Koefisien <i>Inertia</i>	18
Tabel 4.1 Data umum pipa.....	27
Tabel 4.2 Data <i>coating</i> pipa.....	27
Tabel 4.3 Data <i>existing line</i> pada lokasi	28
Tabel 4.4 Data arus	28
Tabel 4.5 Data gelombang	29
Tabel 4.6 Data tanah	29
Tabel 4.7 Ketinggian <i>support</i> untuk KARMILA-A	30
Tabel 4.8 Ketinggian <i>support</i> untuk <i>subsea cable</i>	30
Tabel 4.9 Perhitungan stabilitas vertikal.....	33
Tabel 4.10 Analisa pada kondisi instalasi.....	33
Tabel 4.11 Analisa pada kondisi operasi	34
Tabel 4.12 Perhitungan volume <i>support</i>	35
Tabel 4.13 Perhitungan <i>submerge weight</i> pada <i>support</i>	35
Tabel 4.14 Perhitungan <i>overturning moment</i>	36
Tabel 4.15 Analisa <i>sliding stability</i>	38
Tabel 4.16 <i>Bearing capacity</i>	38
Tabel 4.17 Jarak dengan <i>existing line</i> pada lokasi <i>crossing</i>	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi telah menjadi bagian mendasar pada kebutuhan hidup manusia. Diantara banyak sumber energi yang ada di alam ini, minyak dan gas merupakan sumber energi paling banyak digunakan manusia. Pipa merupakan salah satu metode dalam proses penyaluran fluida. Pipa mengalirkan fluida baik untuk injeksi air atau injeksi bahan kimia, *subsea manifold* dan pengaliran hidrokarbon.

Pipelines digunakan untuk berbagai maksud dalam pengembangan sumber daya hidrokarbon di lepas pantai, termasuk pipa transportasi untuk ekspor, pipa penyalur untuk mengangkut produksi dari suatu *platform* ke pipa ekspor (Soegiono, 2007). Untuk mengakomodasi penyaluran minyak dan gas bumi dari sumur-sumur minyak di Lepas pantai dan di laut dalam maka digunakan jaringan pipa bawah laut sebagai alternatif yang paling mudah, aman, dan efisien. Konstruksi pipa bawah laut merupakan salah satu konstruksi yang padat modal dan juga beresiko.

Semakin besarnya kebutuhan energi maka akan semakin banyak jalur pipa yang diperlukan. Dengan banyaknya jalur pipa yang dibuat, besar pula kemungkinan suatu jalur pipa akan melintasi jalur pipa yang lain. Kemungkinan inilah yang sebisa mungkin dihindari oleh pihak industri migas. *Crossing* pipa antara *existing* dengan pipa yang baru dapat dihindari dengan cara membuat rute jalur pipa yang baru. Pembuatan jalur pipa yang baru mungkin akan menghabiskan tambahan biaya dan waktu. Jika jalur pipa yang baru ditentukan untuk melewati jalur *existing* pipa, maka resiko yang ditimbulkan harus dianalisa karena akan mempengaruhi pipa *existing* dan juga pipa yang baru.

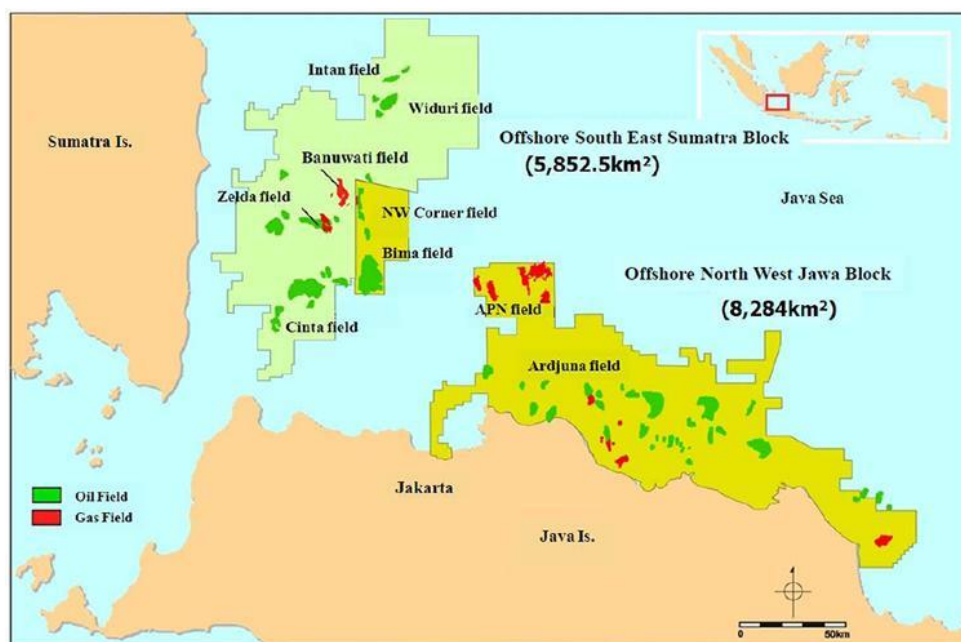
Pemerintah telah mengatur dalam Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No.300.K/38/M.PE/1997, bahwa untuk pipa penyalur yang digelar di bawah laut wajib memenuhi ketentuan untuk menanam pipa tersebut sedalam 2 meter dari seabed dan untuk kedalaman air lebih dari 13 meter, pipa dapat digelar seperti biasa (*laydown*) serta dilengkapi dengan sistem pemberat untuk

melindungi pipa dari aktifitas lalu lintas kapal dan pantai serta untuk menambah kestabilan pipa.

Karena resiko yang ditimbulkan tidak hanya merusak pipa utama namun juga akan berpengaruh terhadap pipa lain yang berada di dekatnya serta dampak lingkungan sekitar pipa dan *support* yang bersilangan perlu dianalisa kestabilannya untuk memastikan bahwa pipa tetap pada kondisi aman. Kriteria stabilitas menggunakan *codes* dari DNV RP F109 *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipeline* 2007. Pada *code* ini terdapat revisi versi sebelumnya yang terletak pada penambahan faktor reduksi pada pembebanan pipa akibat adanya permeabilitas.

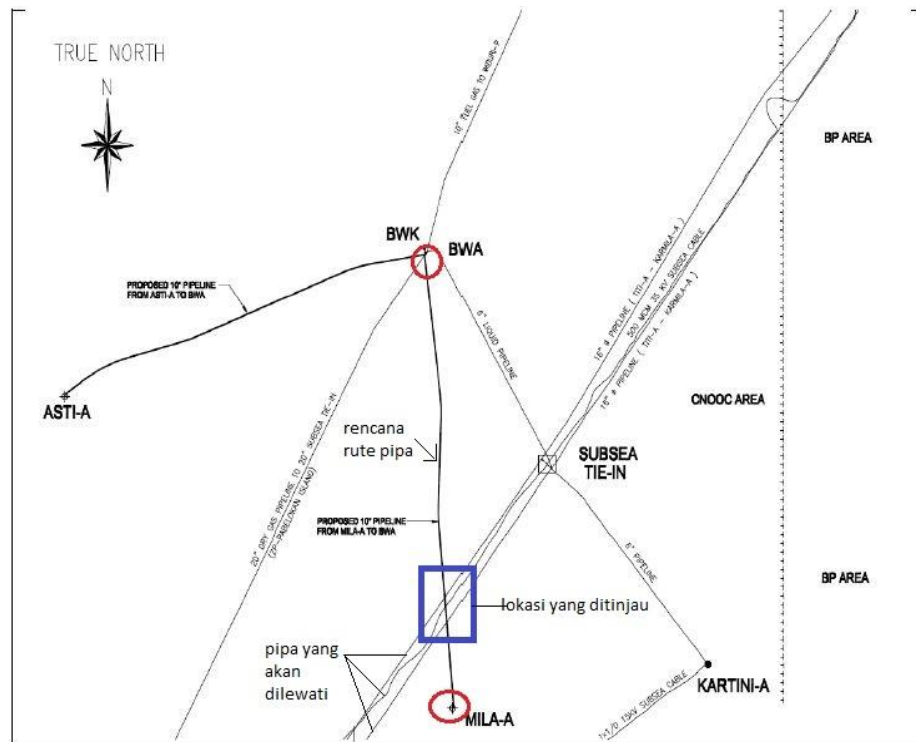
CNOOC berencana untuk mengembangkan lapangan gas MILA-A untuk menyuplai produksi di Banuwati-A (BWA) *platform*. BWA merupakan *platform* untuk produksi gas yang telah beroperasi. MILA-A adalah *unmanned well head platform* yang didesain dengan kapasitas 40 *MMSCFD*. Untuk menghubungkan MILA-A dengan BWA akan dibangun pipa bawah laut sepanjang 7,3 km. Dalam jalur pipa yang direncanakan pipa berdiameter 10,75” akan melewati 2 pipa dan 1 kabel bawah laut. Kedalaman laut maksimal di lokasi adalah 22,23 m.

Berikut merupakan peta lokasi field BANUWATI :

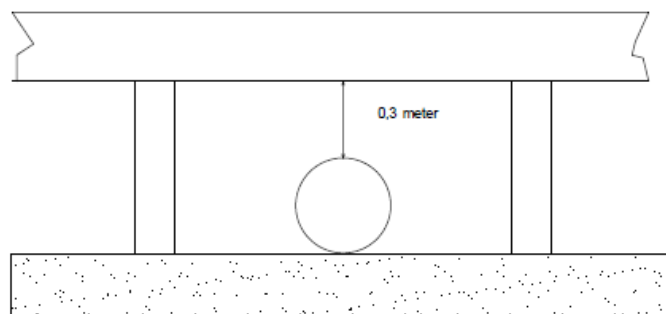


Gambar 1.1 Peta Lokasi Field Banuwati (sumber: energy-pedia.com)

Berikut ini adalah peta lokasi *crossing pipeline* :



Gambar 1.2 Peta lokasi pipa yang bersilangan



Gambar 1.3 Clearance pada *crossing pipeline*

Analisa yang dilakukan harus memperhatikan bahwa kedua pipa yang bersilangan tetap dalam kondisi aman. Kriteria aman yang ditentukan adalah jarak minimum vertikal antar pipa yang bersilangan. Jarak minimum vertikal yang ditetapkan adalah 0,3 meter (DNV OS-F101).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa besar gaya yang mengenai pipa dan *support* pada lokasi *crossing* ?
2. Apakah stabilitas *support* pada lokasi *crossing* memenuhi ?
3. Apakah jarak aman vertikal pipa memenuhi standar yang telah ditentukan ?

1.3 Tujuan Analisa

Tujuan yang diharapkan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui gaya – gaya yang mengenai pipa dan *support* pada lokasi *crossing*.
2. Mengetahui stabilitas *support* pada lokasi *crossing*.
3. Mengetahui apakah jarak aman (*clearance*) vertikal sudah memenuhi standar.

1.4 Manfaat

Manfaat dari pelaksanaan tugas akhir ini untuk memberikan pemahaman mengenai desain stabilitas pipa bawah laut serta mengetahui hasil analisa yang diharapkan mampu menjadi acuan dalam menghitung stabilitas pipa bawah laut khususnya pada kondisi bersilangan yang didukung dengan *support concrete*. Selain itu diharapkan mampu untuk menjadi rujukan dalam penentuan stabilitas *crossing pipeline* yang didukung dengan *support*.

1.5 Batasan Masalah

Dalam mempermudah pengerjaan Tugas Akhir ini, perlu ditentukan fokus masalah yang akan dibatasi dalam tugas akhir, yaitu sebagai berikut:

1. Studi kasus yang digunakan adalah pipa dari MILA-A ke BANUWATI Platform;
2. Data-data yang digunakan didapat dari dokumen proyek dan survei lapangan;
3. Untuk masing pipa yang menyilangi objek dibawahnya ditopang oleh 6 *support*.
4. Analisa dilakukan dalam 2 kondisi , yaitu : instalasi dan operasi.

5. Tanah sepanjang pipa dan *support* diasumsikan homogen;
6. *Existing line* terdiri dari 2 pipa berdiameter 0,492 meter dan 1 *subsea cable* berdiameter 0,1 meter dan diasumsika tidak mengalami *uplift*;
7. Perhitungan penurunan konsolidasi diasumsikan secara normal;
8. Pengaruh *scouring* diabaikan;
9. Span terjadi akibat sanggahan *concrete support* untuk menjaga *clearance*;
10. Tidak menganalisa stress pada pipa;
11. Tidak melakukan analisa span statis akibat span yang timbul;
12. Tidak melakukan perhitungan kelelahan akibat span yang timbul;

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam tugas akhir ini, antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatarbelakangi sehingga studi ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari *output* perhitungan juga akan dibahas pada bab ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Jarak aman (clearance) vertikal pada pipa yang bersilangan adalah hal yang harus diperhatikan pada kasus *crossing pipeline*. Jarak aman (clearance) tersebut untuk menjaga kedua pipa dapat beroperasi dengan baik. Jarak aman (clearance) telah ditetapkan di rules DNV OS-F101 dengan minimum 0,3 meter. Pipa yang bersilangan dapat dilindungi dengan menggunakan *concrete coating*, *burial protection* dan berbagai proteksi mekanis lainnya.

Pada analisa ini, pipa akan melintasi 3 objek sekaligus yaitu 2 *existing pipeline* dan 1 *subsea cable*. Pipa yang melintasi adalah pipa dari wellhead platform MILA-A menuju ke production platform BANUWATI. Pipa yang melintas akan disupport oleh *concrete sleepers*. Pipa akan membawa fluida berupa gas yang akan diolah di production platform.

Analisa stabilitas desain dari *concrete mattresses* sudah pernah dipublikasikan pada “24th International Ocean and Polar Engineering Conference” oleh Godbold dkk (2014). Dalam prosiding tersebut, peneliti membahas tentang belum adanya standarisasi dari industri untuk perhitungan stabilitas dari *concrete mattresses*. Peneliti juga mempertimbangkan pemakaian *concrete mattresses* untuk support pada *pipeline crossing*.

Christian (2009), menyimpulkan bahwa jarak aman *crossing pipeline* dengan media antara berupa seabed terhadap resiko ledakan adalah sebesar 0,65 meter untuk seabed dengan jenis tanah *clay* dan 0,8 meter untuk jenis tanah *medium dense sand* mengacu pada DNV RP-F107.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Pipa Bawah Laut

Pipeline digunakan untuk menyalurkan fluida yang berkaitan dengan proses eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon. Ada 4 klasifikasi utama pada sistem *pipeline* (Mouselli,1987) , yaitu :

1. *Flowline*

Menghubungkan antara sumur menuju ke *platform* atau *subsea manifold*.

2. *Gathering line*

Menghubungkan antara satu *platform* dengan *platform* lainnya. Pipa yang digunakan berdiameter kecil – sedang.

3. *Trunkline*

Kombinasi dari beberapa aliran satu *platform* atau lebih menuju ke darat. Menggunakan pipa berdiameter besar. Jika jarak *platform* ke daratan jauh , digunakan pompa atau compressor untuk membantu.

4. *Loading/Unloading line*.

Menghubungkan antara *platform* untuk produksi dan fasilitas *loading* atau *subsea manifold* dan fasilitas *loading*. Untuk *loading line* panjangnya sekitar 1 – 3 mile , sedangkan untuk unloading bisa sampai 21 mile. Pipa yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan.

2.2.2 Kondisi Pembebanan

Pada masa operasi pipa bawah laut , terjadi 4 kondisi pembebanan yang dialami , antara lain (Kenny,1993) :

1. Instalasi

Kondisi ini mewakili sesaat setelah *pipeline* diinstalasi dan belum dialiri fluida di dalamnya. Beban utama yang bekerja pada pipa selama waktu ini adalah gelombang, arus *steady* dan *self weight*. Kombinasi dari tekanan dan beban *bending*, dihasilkan dari metode instalasi yang digunakan dan formasi dari *span*.

2. Kondisi Water Filled

Kondisi ini terjadi sebelum dan setelah dilakukan *hydrotest* terhadap *pipeline*. Dalam keadaan ini air laut masuk ke dalam pipa. Kenaikan dari berat terendam memberikan *critically effect* terhadap konfigurasi *pipeline* dan kondisi tegangan.

3. Hydrotest

Hydrotest dilakukan untuk menguji *pipeline* terhadap tekanan internal, yang mana sesuai dengan desain tekanan operasi yang diberikan. Hasil dari kenaikan berat terendam dan tekanan internal yang sangat tinggi pada kondisi ini akan memberikan beban yang berat terhadap *pipeline*.

4. Operasi

Setelah instalasi dan pengujian pipa selesai dilakukan, kemudian pipa akan memasuki fase operasi. Selama operasi, pipa mungkin mengalami tekanan internal dan suhu yang tinggi.

2.2.3 Jenis-jenis pembebanan

Menurut Kenny (1993), beban yang bekerja pada pipa dibagi menjadi 2 kategori, antara lain :

a. *Functional Load*

Beban Fungsional ini merupakan beban yang bekerja pada pipa sebagai akibat dari keberadaan pipa itu sendiri tanpa dipengaruhi oleh beban lingkungan. Beban fungsional antara lain adalah beban dari berat pipa itu sendiri, termasuk berat struktur baja pipa, berat lapisan anti korosi, lapisan selubung beton, beban akibat tekanan dalam pipa, beban akibat temperatur pada pipa, serta beban akibat instalasi.

b. *Environmental Load*

Beban ini bekerja pada pipa akibat adanya kondisi lingkungan yang terjadi. Untuk beban pada pipa bawah laut, tentunya yang mempengaruhi adalah beban gelombang dan arus. Untuk mendapatkan data beban lingkungan yang tentunya bersifat acak, maka data yang digunakan untuk analisa adalah data dengan periode ulang (*return period*). Periode ulang merupakan data rata-rata beban yang terjadi.

2.2.3 Berat Terendam Pipa

Pipa yang sudah terendam di dasar air laut akan bertambah berbeda beratnya jika dibandingkan dengan pipa di daratan. Berikut formulanya :

Diameter luar pipa

$$D = D_o + 2t_{cor} + 2t_c \quad (2.1)$$

Diameter dalam pipa

$$D_i = D_o - 2t_{st} \quad (2.2)$$

Berat pipa baja (W_{st})

$$W_{st} = \frac{\pi}{4} \rho_{st} (D_o^2 - D_i^2)g \quad (2.3)$$

Berat *corrothion coating*

$$W_{cor} = \frac{\pi}{4} \rho_{cor} [(D_o + 2t_{cor})^2 - D_i^2]g \quad (2.4)$$

Berat *concrete coating*

$$W_c = \frac{\pi}{4} \rho_{cont} [(D_o + 2t_{cor} + 2t_c)^2 - (D_o + 2t_{cor})^2]g \quad (2.5)$$

Berat pengisi pipa

$$W_{cont} = D_i^2 \rho_{cont} g \quad (2.6)$$

Gaya apung

$$B = \frac{\pi}{4} \rho_w [(D_o + 2t_{cor} + 2t_c)^2] g \quad (2.7)$$

Berat terendam pipa

$$W_S = W_{st} + W_{cor} + W_c + W_{cont} - B \quad (2.8)$$

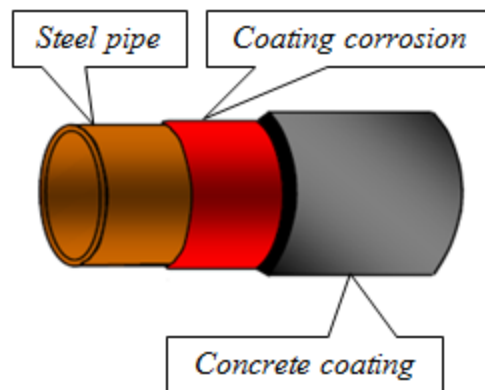
D_o : Diameter luar pipa (m)

D_i : Diameter dalam pipa (m)

T_{corr} : Tebal *corrothion coating* (m)

T_c : Tebal *concrete coating* (m)

W_{st} : Berat baja di udara (N/m)



Gambar 2.1 Gambaran pipa

2.2.4 Beban Gelombang

Permukaan air laut yang terkena hembusan angin secara terus menerus akan membentuk gelombang laut. Besarnya gelombang dipengaruhi oleh intensitas, jangka waktu, dan jarak angin berhembus. Perhitungan beban gelombang dapat direpresentasikan dengan perhitungan gaya gelombang.

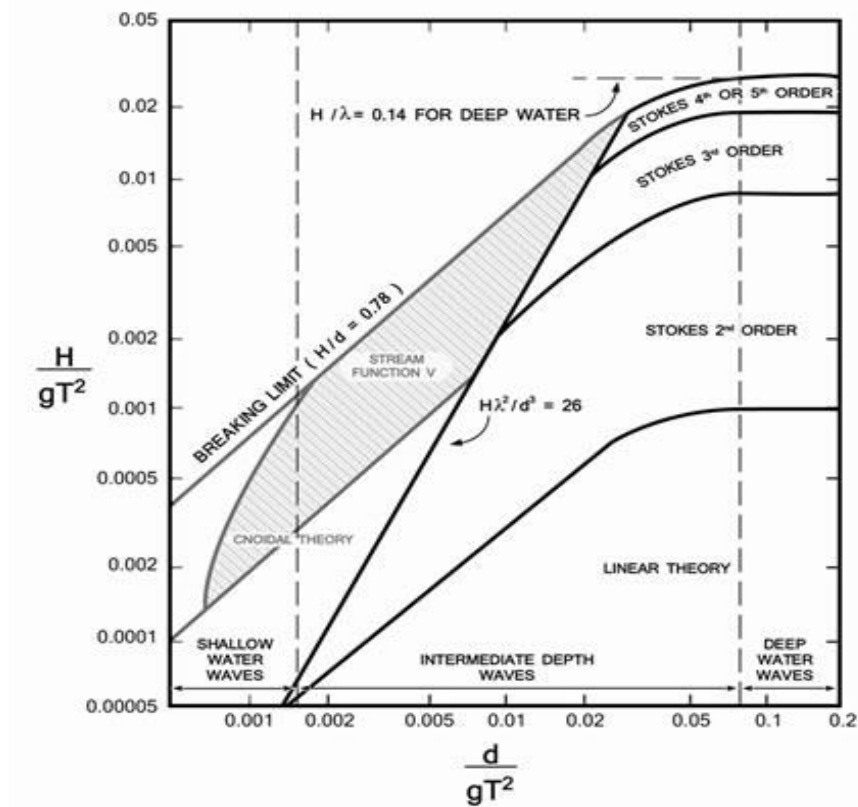
Pola acak gelombang laut dalam hal elevasi dan propagasinya tidak akan berulang urutannya di lokasi yang sama (Djarmiko, 2012). Dengan demikian teori gelombang reguler tidak dapat digunakan secara langsung dalam menjelaskan gelombang acak.

2.2.4.1 Teori Gelombang

Mouselli (1981) menyatakan bahwa teori gelombang yang akan digunakan dalam perancangan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi dari gelombang linier berikut ini :

$$\left[\frac{H}{gT^2}\right] \text{ dan } \left[\frac{d}{gT^2}\right] \quad (2.9)$$

Hasil dari formulasi kemudian disesuaikan dengan grafik Daerah Aplikasi Teori Gelombang “Regions of Validity of Wave Theories”, pada gambar di bawah ini



Gambar 2.2 Region of Validity of Wave Theory

2.2.4.2 Teori Gelombang Stokes Orde 2

Teori gelombang stokes dapat digunakan untuk perairan yang membutuhkan tingkat akurasi lebih tinggi dari teori gelombang linier. Persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horizontal untuk teori gelombang Stokes Orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut (Chakrabarti, 2005):

Kecepatan Horizontal :

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta \quad (2.10)$$

Percepatan Horizontal :

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta \quad (2.11)$$

Dengan :

d : kedalaman perairan (ft)

H : tinggi gelombang (ft)

L : panjang gelombang dengan perkiraan kedalaman perairan

Tabel 3.1 Tabel menentukan rasio h/L₀

Syarat	Koefisien α	Koefisien m
$h/L_0 < 0.04$	0,43	0,511
$0.04 < h/L_0 < 0.15$	0,54	0,58
$0.15 < h/L_0 < 0.39$	0,83	0,808
$h/L_0 > 0.39$	1	1

Untuk menentukan panjang gelombang pada perairan transisi, maka digunakanlah formula ini :

$$\frac{h}{L} = \alpha \left(\frac{h}{L_0} \right)^m \quad \text{so} \quad L = \frac{h}{\alpha (h/L_0)^m} \quad (2.12)$$

T : periode gelombang , (s)

k : angka gelombang , $k = \frac{2\pi}{L}$

g : percepatan gravitasi , (9,81 m/s²)

2.2.5 Stabilitas Pipa

Dengan posisi pipa yang berada di bawah laut , maka pipa tersebut akan mengalami konsekuensi menerima gaya hidrodinamis. Gaya – gaya hidrodinamis yang mengenai pipa antara lain adalah : gaya *drag* (*drag force*), gaya inersia (*inertia force*), dan gaya angkat (*lift force*).

Untuk rumusan gaya – gaya yang mengenai pipa tersebut dirumuskan sebagai berikut (DNV RP-C205 *Environmental Condition and Environmental Loads*) :

Gaya *drag* (F_D)

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D_t \cdot C_D \cdot U_{tot}^2 \quad (2.13)$$

Gaya Inersia (F_I)

$$F_I = \rho_w C_m \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] (du/dt) \quad (2.14)$$

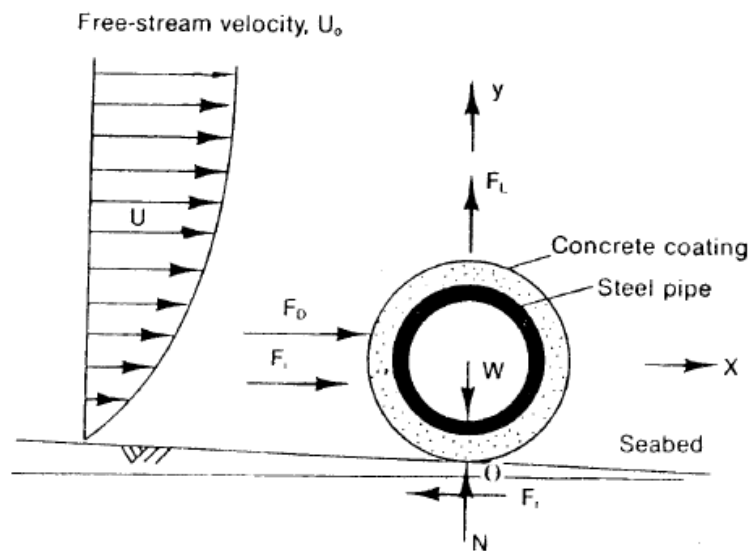
Gaya *Lift* (F_L)

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_w C_L D U^2 \quad (2.15)$$

Dengan :

- ρ : densitas air laut, kg/m³
- D : diameter terluar pipa (m)
- U : kecepatan aliran fluida, m/s
- du/dt : percepatan aliran fluida, m/s²
- C_D : coefficient *drag*
- C_M : coefficient inersia atau massa
- C_L : coefficient *lift*

Berikut ilustrasi dari gaya – gaya yang bekerja pada pipa,



Gambar 2.3 Gaya Hidrodinamis pada pipa (Mouselli, 1981)

2.2.6 Reynolds Number

Reynolds number adalah perbandingan antara *inertia force* (UD) dan *viscous force* (v). Dalam aplikasinya *reynold number* dapat digunakan untuk menentukan koefisien hidrodinamik yang digunakan dalam perhitungan gaya – gaya hidrodinamika yang bekerja pada struktur silinder. Penentuan koefisien hidrodinamis dapat diperoleh dari tabel dibawah ini.

Tabel 3.2 Koefisien Hidrodinamis

Re	Hydrodynamics Coefficient		
	Cd	Cl	Cm
$Re < 5.10^4$	1,3	1,5	2,0
$5.10^4 < Re < 1,0 \times 10^5$	1,6	1,0	2,0
$1,0 \times 10^5 < Re < 2,5 \times 10^5$	$1,53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1,2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2,0
$2,5 \times 10^5 < Re < 5,0 \times 10^5$	0,7	0,7	$2,5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$Re > 5.10^5$	0,7	0,7	1,5

2.2.7 Support Pipeline

Support pada *pipeline* digunakan untuk menjadi sarana penyebrangan jalur pipa baru yang akan melewati objek yang telah ada sebelumnya seperti pipa, kabel bawah laut, dan objek lainnya. *Support pipeline* akan didesain dengan bentuk menyesuaikan dengan kondisi dimana akan digunakan. Kondisi lingkungan yang mempengaruhi bentuk *support* antara lain ketinggian *support* yang diinginkan dan kondisi tanah pada lingkungan tersebut. Ada *support* yang meminimalkan beratnya, ada juga yang menyesuaikan dengan kondisi pipa yang akan ditumpu. Berikut ini adalah beberapa contoh gambar bentuk *support* dengan menyesuaikan lingkungan dimana *support* diletakkan.

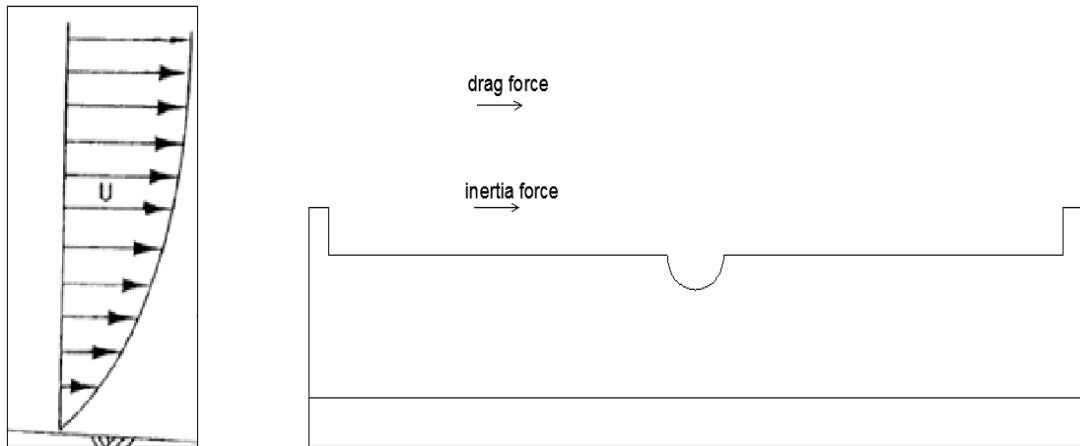


Gambar 2.4 Bentuk *support* meminimalkan berat



Gambar 2.5 Bentuk *support* lainnya

Support pipeline ini akan menerima beban lingkungan sama dengan apa yang mengenai pipa di atasnya. *Support* harus mampu menahan gaya yang mengenai sekaligus menahan gaya diterima oleh pipa. Gaya – gaya yang terjadi pada *support* akan ditunjukkan oleh gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Gaya yang terjadi pada *support*

Untuk perhitungan gaya – gaya yang mengenai *support*, dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$F_d = 0,5 \times \rho \times C_d \times V \times A_{support} \quad (2.16)$$

$$F_i = \rho \times V_{support} \times u_{wave} + \rho \times C_i \times V_{support} \times u_{wave} \quad (2.17)$$

dengan,

V : Volume *support*

ρ : Massa jenis air laut

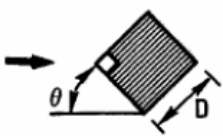
A : Luasan *support* yang terkena gaya

C_d, C_i : Koefisien untuk *drag* dan *inertia* pada *support*

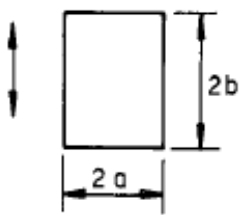
u_{wave} : kecepatan horizontal gelombang

Untuk mengetahui koefisien pada *support*, maka diambil referensi dari appendix pada DNV- RP – H103. Berikut adalah contoh dari tabel pada data referensi :

Tabel 3.3 Koefisien Drag

Geometry	Drag coefficient, C_{DS}										
6. Inclined square 	θ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	C_{DS}	2.2	2.1	1.8	1.3	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4
	$Re \sim 4.7 \times 10^4$										

Tabel 3.4 Koefisien Inersia

Section through body	Direction of motion	C_A
	Vertical	$a/b = \infty$ 1.0 $a/b = 10$ 1.14 $a/b = 5$ 1.21 $a/b = 2$ 1.36 $a/b = 1$ 1.51 $a/b = 0.5$ 1.70 $a/b = 0.2$ 1.98 $a/b = 0.1$ 2.23

Untuk mengetahui kestabilan dari *support*, maka *support* harus mampu memenuhi 2 faktor. Faktor tersebut adalah *overturning stability* dan *sliding stability*. 2 faktor tersebut mempunyai kriteria *safety factor* agar *support* dapat beroperasi dengan aman. Untuk perumusannya adalah sebagai berikut :

$$M_o = F_{Hp} \times (H + D_o) + F_{Hs} \times \frac{2}{3} H \quad (2.18)$$

$$M_r = F_v \times 0,5 \times B \quad (2.19)$$

$$F_{friction} = u \times F_v \quad (2.20)$$

dengan,

M_o = *Moment overturning*

M_r = *Resisting moment*

F_{Hp} = *Horizontal force pada pipa*

H = *Ketinggian support*

D_o = *Outer diameter pipa*

F_{Hs} = *Horizontal force pada support*

F_v = *Vertical force*

B = *Lebar dari support*

u = *Koefisien gesek tanah*

2.2.8 Stabilitas Pondasi

Beban yang ditambahkan di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah yang berada di bawah mengalami pemampatan. Ketika nilai beban per unit area pada pondasi bertambah, maka tanah akan mengalami reaksi plastis dan nilai *settlement* akan bertambah. Mayerhoff mengekspresikan persamaan *bearing capacity* sebagai berikut :

$$q_u = cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + 0.5B\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2.21)$$

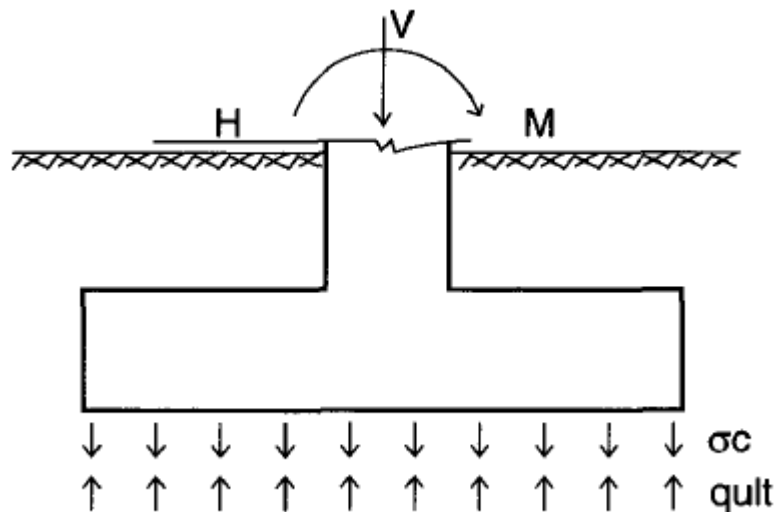
dengan ,

c : cohesion of soil

γ : unit *weight* of soil

q : W/A , W = berat struktur dan A = luar area tekan

N_c, N_q, N_γ : *bearing capacity factor*



Gambar 2.7 Ilustrasi pondasi dangkal (Sumber: Joetata)

Untuk safety factor yang akan digunakan pada *bearing capacity* adalah 3 (Braja M. Das, 1985). Safety factornya adalah perbandingan antara ultimate *bearing capacity* dengan *allowable bearing pressure* harus sama dengan 3, ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini :

$$\frac{qu}{q_{all}} = 3 \quad (2.22)$$

Pada persamaan diatas *bearing pressure* yang diijinkan adalah beban kombinasi antara beban vertikal dalam artian berat struktur dan dengan momen yaitu gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja pada struktur *support*

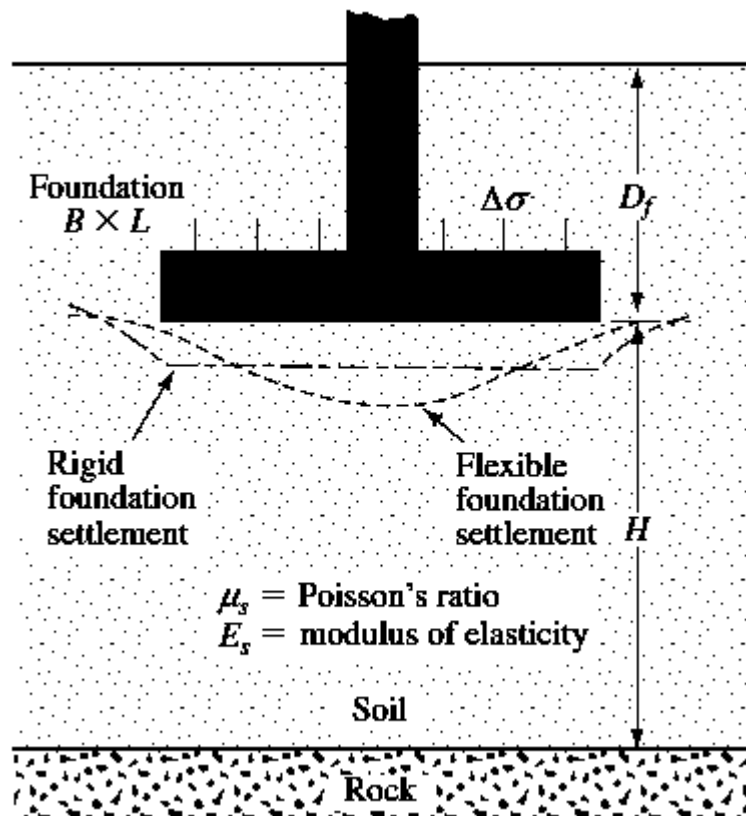
$$q_{all} = \frac{W}{A_c} + \frac{M}{Z} \quad (2.23)$$

dengan,

- W : beban vertikal
- A_c : luas bidang telapak
- M : momen, dan
- Z : $\frac{BH^2}{6}$
- B : lebar pondasi
- H : tinggi pondasi

2.2.9 Immediate Settlement

Penurunan segera (*immediate settlement*) adalah akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan dalam kadar air.



Gambar 2.8 Pengaruh tapak pada tanah (sumber: Das,1985)

Perhitungannya didasarkan pada teori elastisitas yang dirumuskan Timoshenko dan Goodier (1951) seperti di bawah ini :

$$St = pB \frac{1-u^2}{E} Ip \quad (2.24)$$

Dengan :

St : *immediate settlement*

p : tekanan bersih yang dibebankan

B : lebar pondasi

u : angka *poisson*

E : modulus elastisitas tanah

Ip : faktor pengaruh yang bergantung pada bentuk pondasi telapak

2.2.10 Consolidation Settlement

Consolidation settlement (penurunan konsolidasi) adalah hasil dari perubahan volume pada tanah jenuh air akibat dari keluarnya air yang menempati pori – pori tanah. Persamaan penurunan konsolidasi ditunjukkan dengan persamaan di bawah ini :

$$Sc = \frac{CcH}{1+e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \quad (2.25)$$

Dengan :

Sc : penurunan konsolidasi

Cc : index pemampatan

Cs : indeks pemuaian

H : tebal lapisan tanah

e_o : *void ratio*

Δp : penambahan tekanan vertikal

p_o : tekanan *overburden* efektif

Tekanan *preconsolidation* menunjukkan tekanan maksimum yang dimungkinkan terjadi pada tanah. Nilai tekanan ini ditentukan oleh *e-logp curve* (pada tes *laboratory curve*). Prosedur tersebut dilakukan pertama kali oleh Cassagrande. Tekanan efektif rata – rata pada layer sebelum ada penempetan pondasi dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut ini :

$$P_o = z \gamma_s \quad (2.26)$$

Dengan :

P_o : tekanan efektif oleh tanah

γ_s : densitas tanah

Sedangkan untuk penambahan tekanan rata – rata pada layer disebabkan karena adanya konstruksi pondasi, persamaannya sebagai berikut :

$$\Delta p := \frac{F_v}{(B + z) \cdot (L + z)} \quad (2.27)$$

Dengan :

F_v : vertikal *force*

z : *consolidation depth*

B : lebar telapan pondasi

L : panjang telapak pondasi

Untuk *consolidation depth* (kedalaman konsolidasi) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

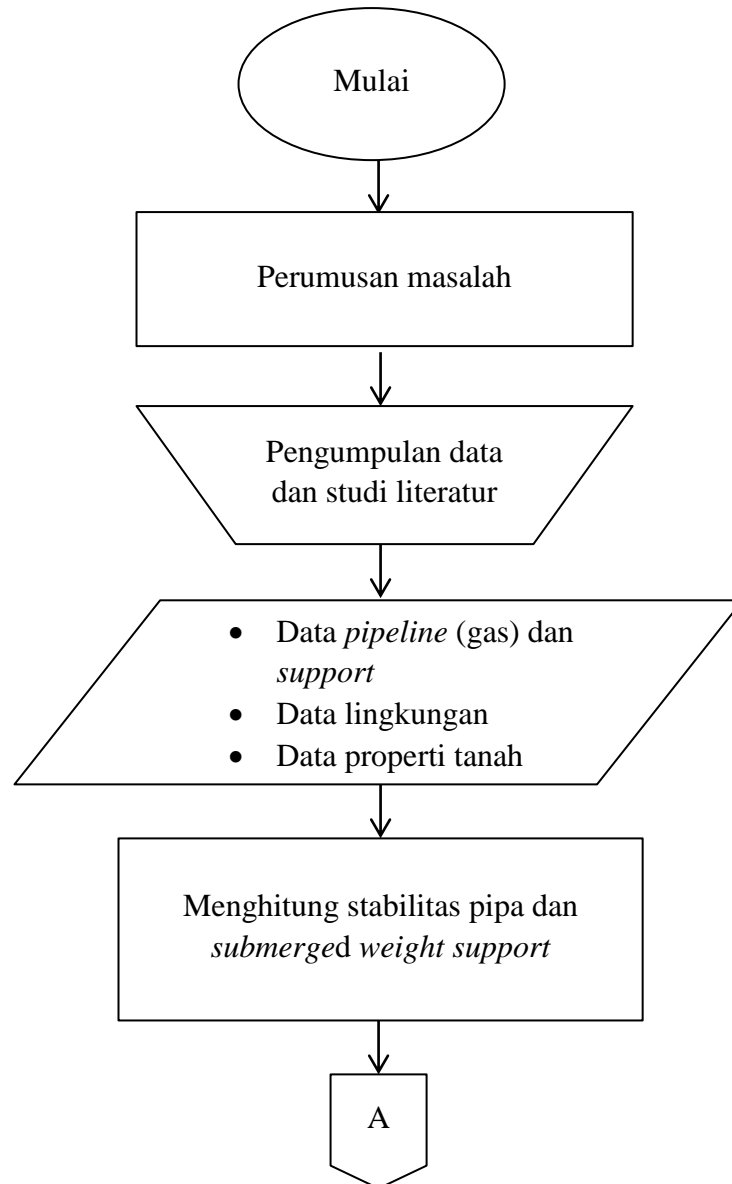
$$z = \frac{t_{layer}}{2} \quad (2.28)$$

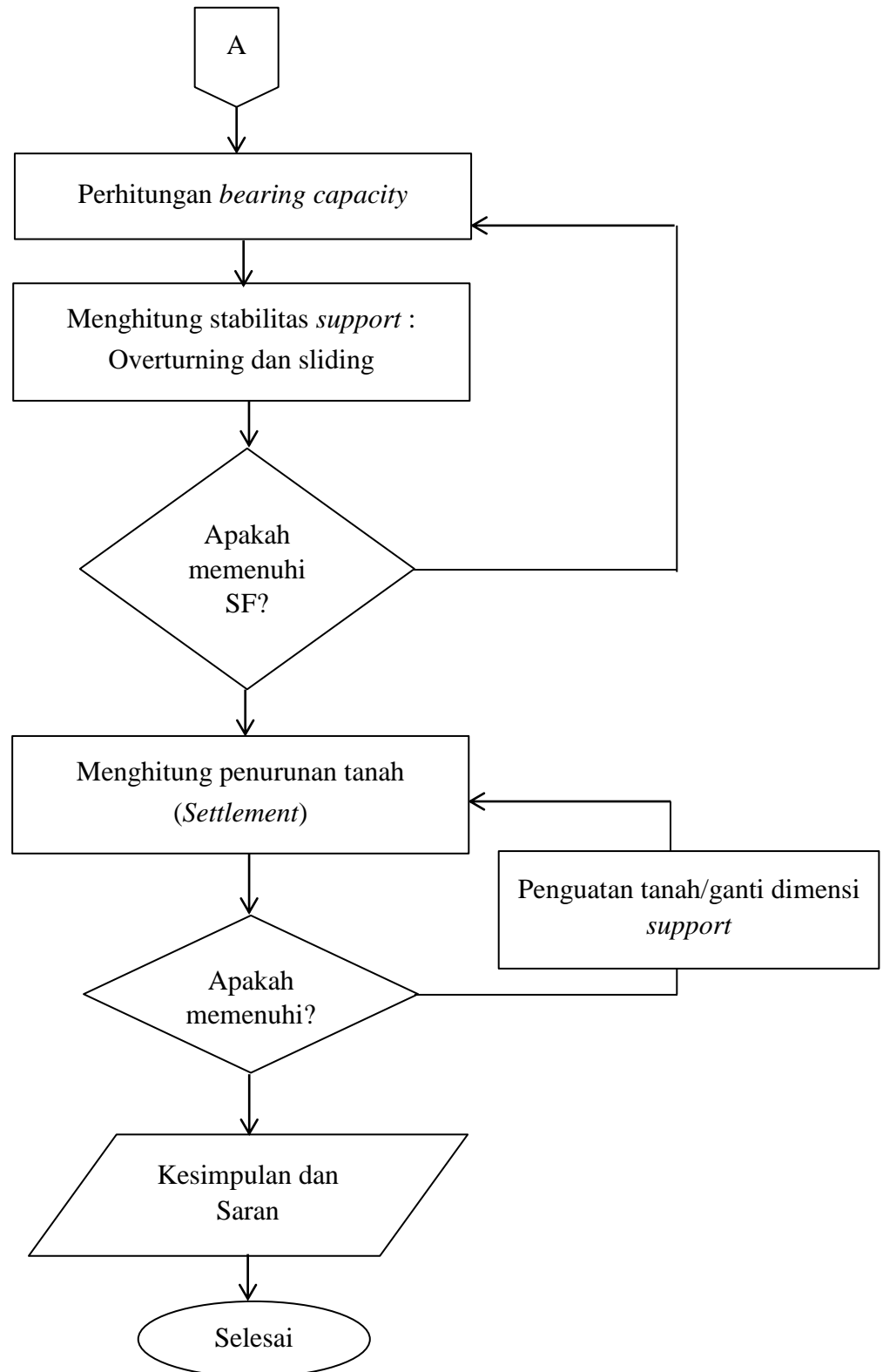
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penulisan Tugas Akhir ini digunakan metodologi penelitian yang tergambar dalam diagram alir berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Perumusan Masalah

Dalam melakukan penelitian, langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang ada dalam tugas akhir yang akan diambil. Dalam hal ini adalah stabilitas *support* pada *crossing pipeline*. Analisa ini dilakukan agar kondisi pipa yang berada pada *crossing* tersebut tetap dapat beroperasi dengan aman. Kemudian ditentukanlah tujuan penelitian agar penelitian ini searah dengan manfaat yang didapatkan.

3.2.2 Studi Literatur dan Daftar Pustaka

Dalam menentukan dasar teori dan pengembangan wawasan, tentunya kita memerlukan studi literatur dari berbagai sumber yang mendukung tugas akhir yang akan diambil.

3.2.3 Pengumpulan Data

Setelah menentukan dasar teori, selanjutnya adalah mengumpulkan data-data yang terkait dengan Tugas Akhir yang akan dibahas, sebagai bahan analisa dan olahan terhadap pembahasan. Data yang diperlukan adalah:

- a. Data material *pipeline* dan *support*
- b. Data lingkungan
- c. Data tanah pada lokasi *crossing*

3.2.4 Menghitung *Submerge Weight* Pipa dan *Support*

Perhitungan ini dilakukan karena berat pipa maupun *support* pada saat di darat dengan di bawah air akan berbeda. Selain itu juga untuk memperoleh nilai *bouyancy* saat berada di bawah air.

3.2.5 Perhitungan *Bearing Capacity*

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui apakah *bearing capacity* masih dapat menahan beban dari *support* pada *crossing pipeline* dengan safety factor juga yang terpenuhi

3.2.6 Perhitungan Stabilitas *Support*

Pada kondisi di bawah air, *support* pipa akan mengalami gaya hidrodinamis dari lingkungan. Gaya – gaya yang diperhitungkan adalah gaya *drag*

, gaya inersia. Setelah mengetahui gaya – gaya yang berpengaruh pada *support* , akan dilakukan analisa apakah *support* masih dapat menahan gaya yang diterima dengan safety factor juga yang terpenuhi.

3.2.7 Perhitungan *Settlement* pada *Support* Pipa

Beban yang ditumpu oleh *support* pipa akan mengakibatkan pemampatan pada tanah sehingga tanah akan mengalami penurunan. Penurunan tanah yang diperhitungkan adalah penurunan tanah segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

3.2.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan dilakukan, maka akan dilakukan kesimpulan dari penelitian dan juga saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Studi kasus yang dipakai adalah proyek pengembangan dari lapangan gas MILA-A yang akan menyuplai produksi di Banuwati-A (BWA) *platform*. Untuk menghubungkan MILA-A dengan BWA akan dibangun pipa bawah laut sepanjang 7,3 km. Dalam jalur pipa yang direncanakan pipa berdiameter 10,75” akan melewati 2 pipa dan 1 kabel bawah laut. Pipa akan mengalami persilangan pada Kilometer Point 1.457, 1.718, dan 1.884. Data – data yang berkaitan dengan pipa akan disajikan pada tabel dibawah ini.

4.1.1 Data Pipa

Data pipa yang ada pada tabel dibawah ini adalah data umum pipa

Tabel 4.1 Data umum pipa

Deskription	Unit	Parameter
Outer Diameter	mm	273,1
Wall Thickness	mm	15,9
Corrosion Allowance	mm	6
Pipe Joint Length	m	12,2
Material Grade		API 5L X65Q

Data *coating* pipa terdiri dari jenis *coating* , tipe material , densitas serta ketebalan dari *coating*.

Untuk data *coating* adalah sebagai berikut

Tabel 4.2 Data *coating* pipa

<i>Coating Type</i>	<i>Coating System</i>	Thickness (mm)	Density (kg/m ³)
Corrosion <i>Coating</i>	3LPE	2,8	940
Stability <i>Coating</i>	<i>Concrete</i>	90	3043,5

Data *existing pipeline* ini terdiri dari lokasi Kilometer Point pipa yang telah ada sebelumnya dan total OD dari pipa.

Data *existing pipeline* pada lokasi *crossing* adalah sebagai berikut

Tabel 4.3 Data *Existing line* pada lokasi

Description	KP Location	Outside Diameter (mm)	Corr. <i>Coating</i> Thickness (mm)	Concr. <i>Coating</i> Thickness (mm)	Total OD (mm)
16" Pipeline KARMILA –A to TITI-A	1.457	406,4	2,8	40	492
<i>Subsea Cable</i> Zelda	1.718	100	-	-	100
16" Pipeline KARMILA –A to TITI-A	1.884	406,4	2,8	40	492

4.1.2 Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperoleh dari sumber-sumber tabel di bawah ini terdiri dari data kedalaman, arus, gelombang, dan data tanah. Semua data tersebut akan digunakan dalam analisis untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan.

Data yang pertama adalah data arus, yang disajikan pada tabel berikut

Tabel 4.4 Data arus

Parameter	Unit	Return Period		
		1 year	10 years	100 years
Surface	m/s	1,03	1,49	1,84
10 % depth	m/s	0,87	1,20	1,46
20 % depth	m/s	0,74	0,99	1,18
30 % depth	m/s	0,65	0,83	0,97
40 % depth	m/s	0,59	0,72	0,82
50 % depth	m/s	0,54	0,64	0,71
60 % depth	m/s	0,51	0,58	0,63
70 % depth	m/s	0,48	0,53	0,57
80 % depth	m/s	0,46	0,50	0,53
90 % depth	m/s	0,45	0,48	0,50
100 % depth	m/s	0,44	0,46	0,48

Data arus diatas digunakan untuk menghitung stabilitas saat hydrotest (10 year RP) dan saat waktu operasi (100 year RP). Data yang dibutuhkan selanjutnya adalah data gelombang yang ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 4.5 Data Gelombang

Significant Wave	Symbol	Units	Return Period		
			1 -year	10-years	100-years
Wave	Hs	M	1,88	3,93	4,91
Period	Ts	s	4,98	6,84	7,52

Yang selanjutnya adalah data tanah pada lokasi *crossing* pipa yang ada pada tabel berikut ini

Tabel 4.6 Data Tanah

Parameter		Unit	Value
Soil Type		-	Soft Clay
Soil Unit <i>Weight</i>		kN/m ³	13,818
Undrained Shear Strength		kPa	4,903
Soil resitivity		Ωm	0,2
Lateral Friction	Installation	-	0,250
	Operating	-	0,301
Axial Friction	Installation	-	0,512
	Operating	-	0,710
Spesific Gravity			2,63
Water Content		%	116,4

4.1.3 Data *Support*

Support yang digunakan untuk menopang pipa dibedakan menjadi 4 jenis yang berbeda dalam ketinggian penopang pipa dari atas seabed. Tinggi *support* terdiri dari 1,2 m ; 0,6 m; 0,45 m ; 0,15 m. Kriteria ketinggian *support* yang disyaratkan adalah sebagai berikut :

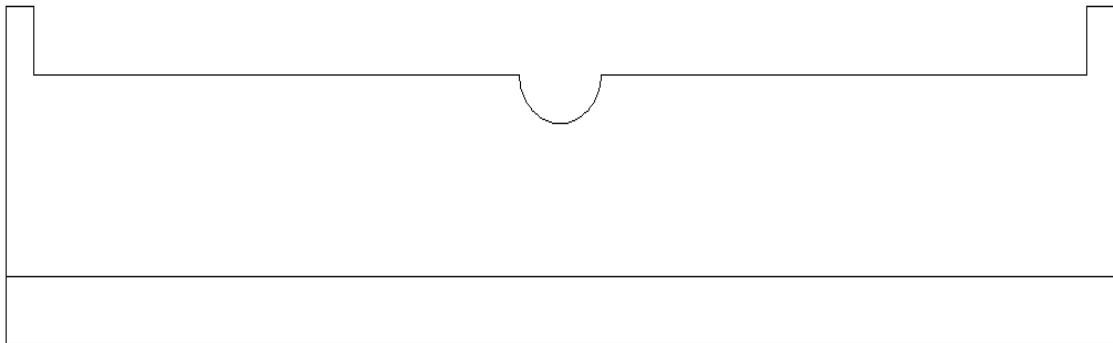
Tabel 4.7 Ketinggian *support* untuk KARMILA-A

<i>Support</i>	Required Height (mm)
CM 1 dan CM 13	150
CM 2 dan CM 14	600
CM 3 dan CM 15	1200
CM 4 dan CM 16	1200
CM 5 dan CM 17	600
CM 6 dan CM 18	150

Tabel 4.8 Ketinggian *support* untuk *Subsea Cable*

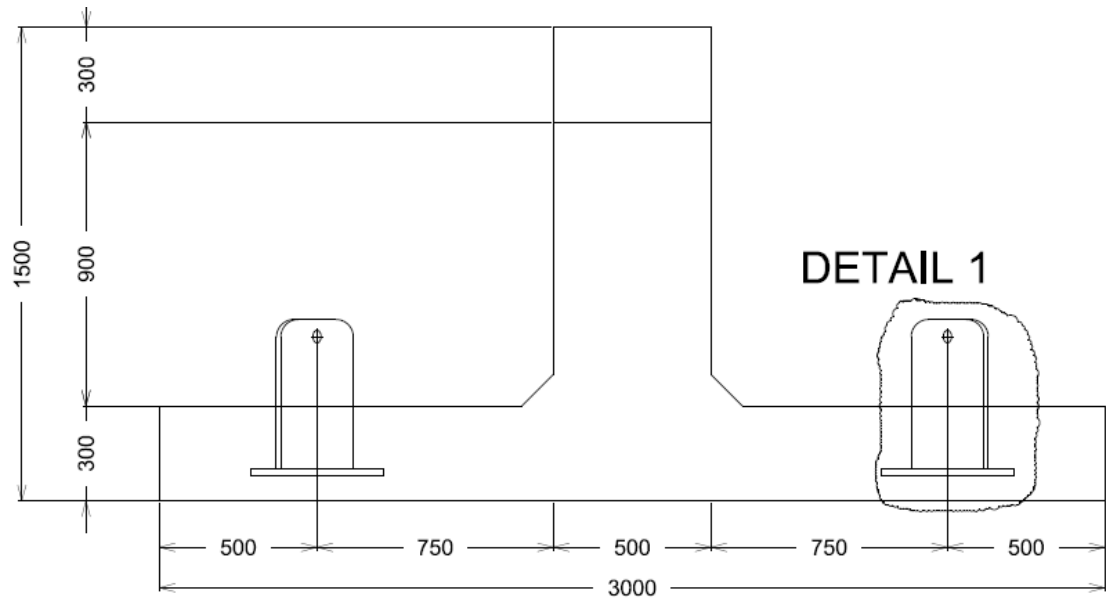
<i>Support</i>	Required Height (mm)
CM 7	150
CM 8	450
CM 9	600
CM 10	600
CM 11	450
CM 12	150

Bentuk dari *support* dapat dilihat pada gambar tampak dibawah ini :



Gambar 4.1 Tampak Depan *Support*

Sedangkan untuk bentuk tampak samping dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

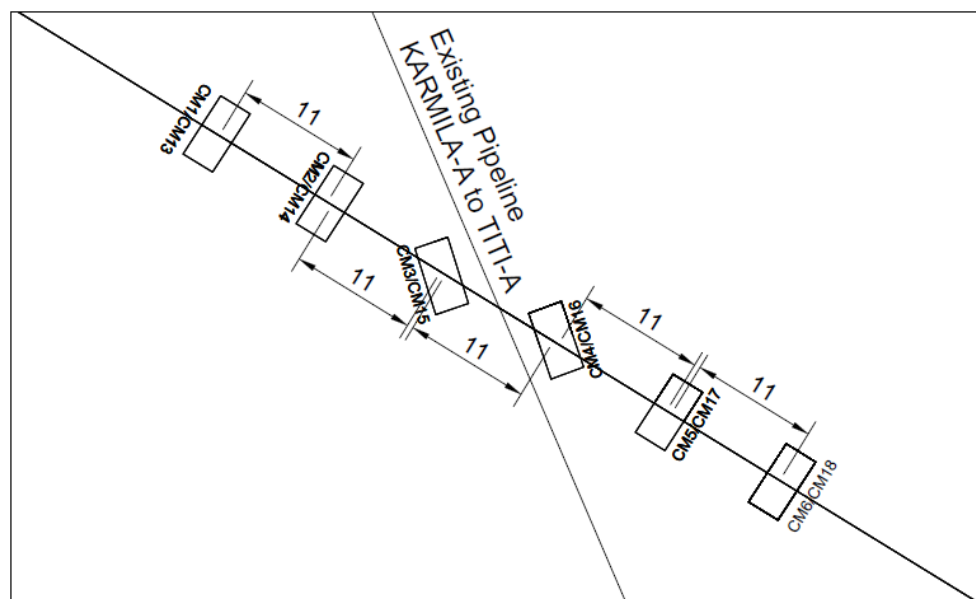


Gambar 4.2 Tampak Samping *Support*

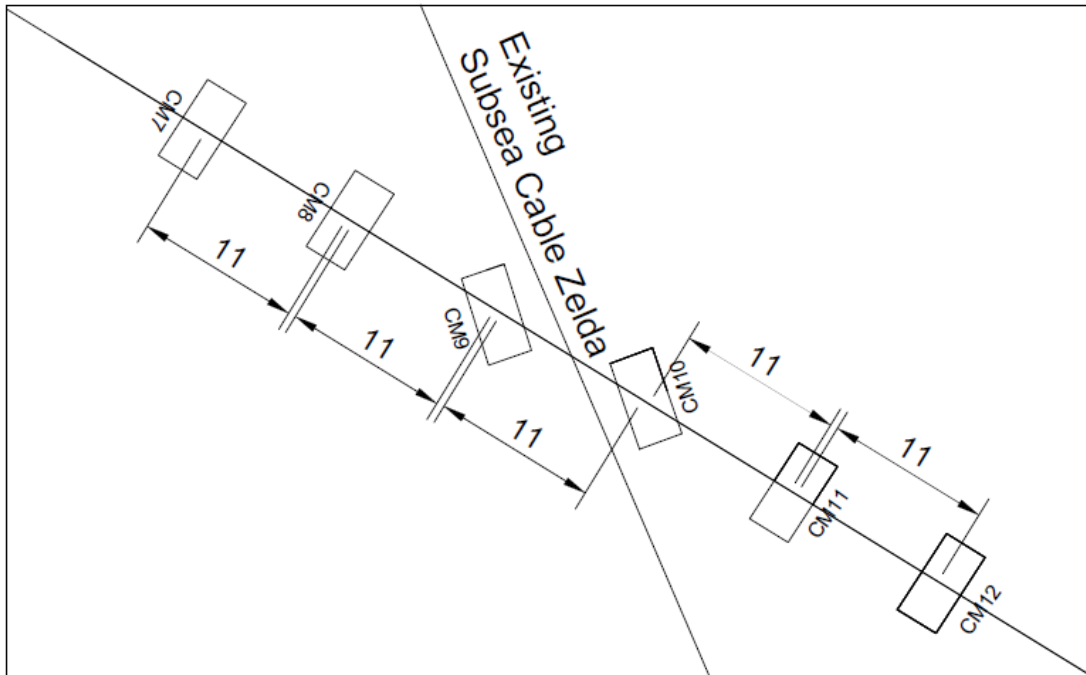
Kedua gambar diatas adalah salah satu contoh bentuk *support* untuk ketinggian 1,2 m diatas seabed.

4.1.4 Desain *Crossing*

Gambar yang akan disajikan selanjutnya adalah desain penempatan *support* pada lokasi *crossing*



Gambar 4.3 Desain *crossing* untuk KARMILA-A (dalam meter)



Gambar 4.4 Desain *Crossing* untuk *Subsea Cable* (dalam meter)

4.2 Analisa Stabilitas Pipa

Perhitungan stabilitas pipa bawah laut menggunakan standar DNV RP F-109. Analisa dilakukan pada dua kondisi, yaitu instalasi dan operasi. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh gaya hidrodinamika pada stabilitas pipa bawah laut. Selanjutnya hasil perhitungan stabilitas pipa akan menjadi acuan untuk perhitungan gaya – gaya yang mempengaruhi stabilitas *support* pipa pada lokasi *crossing*.

4.2.1 Analisa Stabilitas Vertikal

Stabilitas Vertikal dihitung untuk mengetahui apakah pipa yang memiliki berat ketika dilakukan pemasangan mampu untuk menahan gaya apung ketika tercelup ke dalam air. Analisa ini dilakukan pada dua kondisi yaitu instalasi dan operasi. Ketentuan stabilitas pipa secara vertikal harus memenuhi DNV RP F-109 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{(W_s+B)}{B} \geq 1.1 \quad (5.1)$$

Hasil analisa disajikan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.9 Perhitungan stabilitas vertikal

Kondisi	Stabilitas Vertikal Pipa		
	Ws	B	Check
	N/m	N/m	$Sf \geq 1.1$
Instalasi	2064,63	1660,09	2,24
Operasi	1672,53	1660,09	2,01

Perbedaan Ws (berat terendam) pada masa instalasi dan operasi disebabkan oleh isi konten di dalam pipa. Saat instalasi pipa terisi oleh air laut yang massanya lebih besar dari gas yang dialirkan saat masa operasi.

4.2.2 Analisa Stabilitas Lateral

Analisa stabilitas lateral dilakukan untuk mengetahui besar gaya yang dimiliki oleh pipa untuk melawan gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa. Gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa antara lain adalah gaya *drag*, gaya inersia dan gaya angkat. Gaya yang bekerja pada pipa diasumsikan bekerja secara tegak lurus. Kriteria stabilitas lateral ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

$$\frac{(Ws - Fl)u}{Fd + Fi} \geq 1.1 \quad (5.2)$$

Dari analisa yang dilakukan dengan kriteria diatas , pada kondisi instalasi maupun operasi maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.10 Analisa pada kondisi instalasi

Ketinggian dari seabed (m)	Gaya hidrodinamis			Check
	F Drag (N/m)	F Inertia (N/m)	F Lift (N/m)	$Sf \geq 1.1$
1,2	76,53	13,53	117,74	21,6
0,6	76,32	13,34	117,41	21,7
0,45	76,29	13,32	117,36	21,7
0,15	76,25	13,28	117,31	21,7
0	73,88	15,87	113,65	6,5

Pada tabel diatas diketahui bahwa safety factor terkecil terjadi pada pipa yang meletak di tanah. Tabel selanjutnya akan menjelaskan analisa pada kondisi operasi.

Tabel 4.11 Analisa pada kondisi operasi

Ketinggian dari seabed (m)	Gaya hidrodinamis			Check
	F_{Drag} (N/m)	$F_{Inertia}$ (N/m)	F_{Lift} (N/m)	$Sf \geq 1.1$
1,2	173,01	191,59	155,40	4,2
0,6	172,88	190,95	155,18	4,2
0,45	172,86	190,86	155,14	4,2
0,15	172,84	190,75	155,11	4,2
0	179,92	169,42	173,17	1,3

Jika dibandingkan kedua tabel diatas, safety factor pada masa operasi nilainya lebih kecil jika dibandingkan pada masa instalasi. Hal ini disebabkan oleh berbedanya isi dari pipa. Saat masa instalasi pipa terisi oleh air laut, sedangkan saat masa operasi hanya terisi oleh gas yang massa jenisnya lebih kecil.

4.3 Analisa Stabilitas *Support*

Analisa stabilitas *support* dilakukan untuk mengetahui kestabilan *support* utama dalam melawan gaya *bouyancy*, overturning moment, sliding dan *bearing capacity*. Analisa *support* dalam melawan gaya apung diketahui dengan menghitung berat *support* di udara, *bouyancy support*, dan berat tercelup *support*. Sedangkan analisa kemampuan *support* dalam menahan moment overturning, sliding, dan *bearing capacity* terjadi akibat *support* menerima beban dari pipa yang ditopangnya dan gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa dan *support*.

4.3.1 Perhitungan Volume dan Berat Terendam *Support*

Untuk perhitungan volume pada *support* akan dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian alas dan penyangga. Berikut adalah tabel untuk perhitungan volume dari *support* :

Tabel 4.12 Perhitungan Volume *Support*

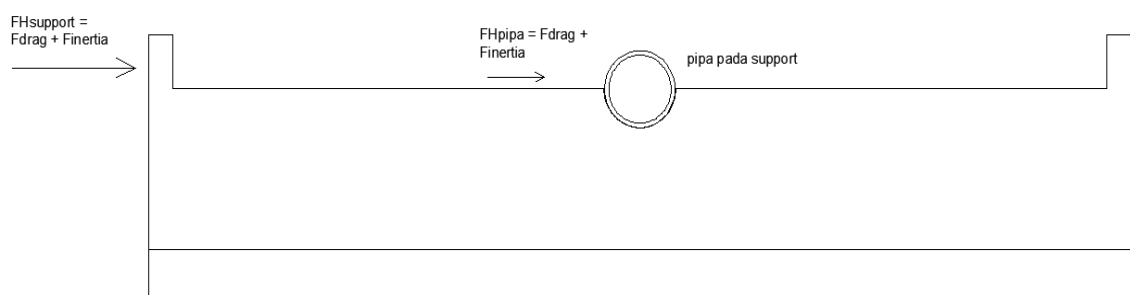
Tinggi <i>support</i>	Dimensi alas (mm)	Dimensi penyangga (mm)	Volume (m ³)
	L x B x H	L x B x H	
1,2 meter	5988 x 2818 x 300	5988 x 500 x 1200	7,80
0,45 meter	5988 x 2818 x 300	5988 x 500 x 450	5,55
0,60 meter	5988 x 2818 x 300	5988 x 500 x 600	6,01
0,15 meter	5988 x 500 x 150	(300x150x500) x 2	2,58

Tabel 4.13 Perhitungan *Submerge Weight* pada *Support*

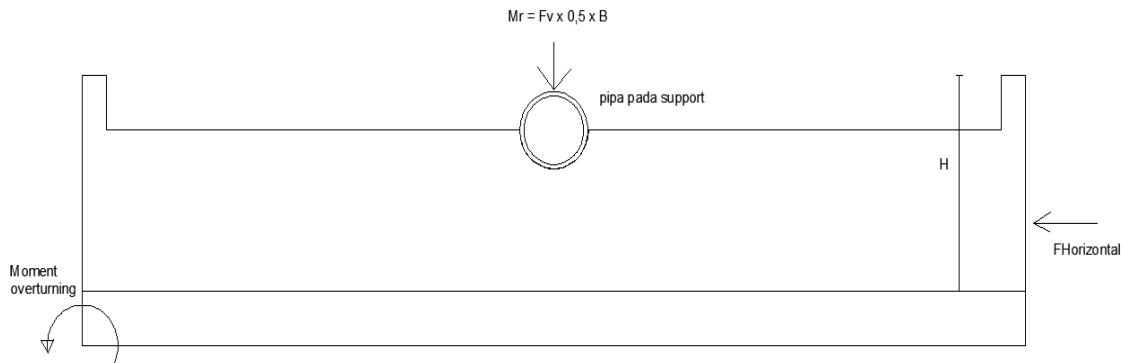
Tinggi <i>support</i>	Weight (N)	Bouyancy (N)	W submerged (N)
1,2 meter	183690,29	78451,06	105239,23
0,45 meter	130810,46	55866,97	74943,50
0,60 meter	141381,72	60381,78	80999,94
0,15 meter	60649,34	25902,32	34747,02

4.3.2 Analisa *Overturning*

Analisa *overturning* pada *support* dilakukan untuk mengetahui kemampuan *support* dalam melawan momen yang bekerja pada *support* akibat gaya – gaya hidrodinamis yang mengenai *support* dan pipa pada ketinggian tertentu. Gaya – gaya tersebut dilawan oleh gaya vertikal *support* dan pipa yang ditopangnya. Gaya - gaya yang bekerja akan diilustrasikan gambar berikut ini :

**Gambar 4.5** Gaya horizontal yang bekerja

Gaya horizontal yang mengenai *support* dan pipa pada ketinggian tertentu akan mengakibatkan adanya momen yang terjadi pada *support*. Momen yang terjadi dapat mengakibatkan *support* terguling. Gaya yang terjadi akan diilustrasikan oleh gambar berikut :



Gambar 4.6 Gambar overturning moment

Overturning moment yang terjadi pada *support* akan ditahan oleh gaya vertikal yang terdiri dari berat *support* dan pipa itu sendiri. Untuk itu perlu dihitung ratio momen yang menahan harus lebih atau sama dengan 2.

$$\frac{(M_o)}{M_r} \geq 2 \quad (5.3)$$

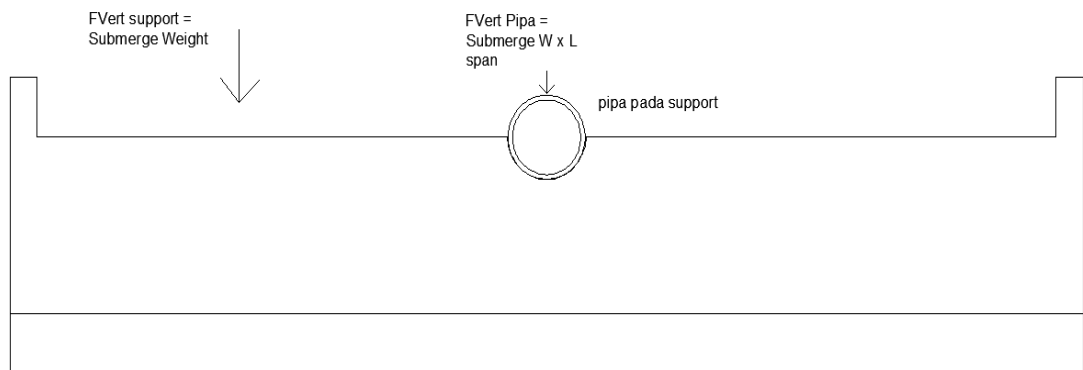
Tabel 4.14 Perhitungan *Overturning Moment*

Tinggi <i>Support</i> (m)	Overturning moment (M_o) dalam (Nm)	Resisting Moment (M_r) dalam (Nm)	Check
1,2	26991,61	174320,03	6,5
0,6	11412,28	131603,05	11,5
0,45	9165,82	140142,64	15,3
0,15	3650,71	74926,02	20,5

Pada *support* yang lebih tinggi, nilai safety factor akan mengecil. Hal ini dikarenakan semakin panjang lengan dari gaya yang dilakukan, maka semakin besar pula momen yang terjadi. Tetapi hal itu dapat diatasi karena semakin tinggi *support*, maka volume dan berat juga akan semakin bertambah.

4.3.3 Analisa *Sliding*

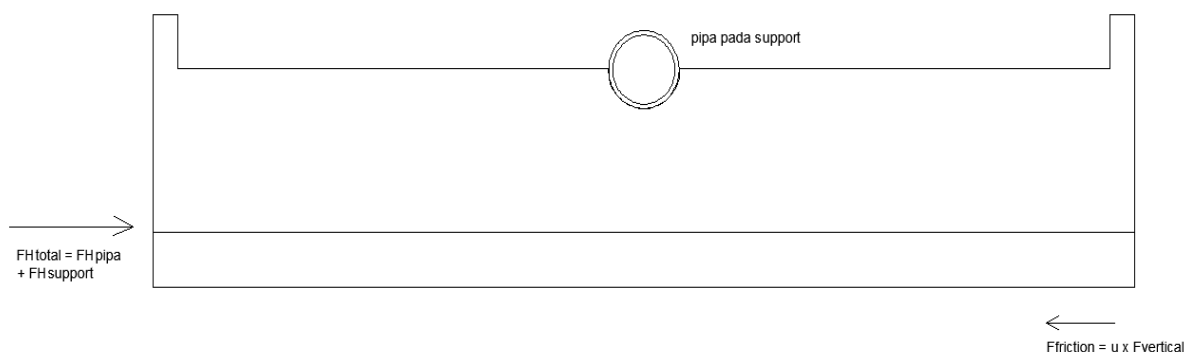
Analisa sliding dilakukan untuk mengetahui kemampuan *support* dalam melawan gaya geser yang diakibatkan oleh gaya – gaya horizontal yang mengenai struktur. Gaya – gaya geser tersebut dilawan oleh gaya gesek struktur dengan tanah. Gaya – gaya yang bekerja akan diilustrasikan oleh gambar berikut ini :



Gambar 4.7 Gaya yang menahan struktur

Pada ilustrasi diatas, berat terendam (*submerge weight*) kedua struktur adalah gaya yang mengarah ke bawah yang bertujuan untuk menahan posisi struktur. Gaya horizontal yang diterapkan pada struktur di titik yang mendekati permukaan tanah akan mengakibatkan adanya gaya geser.

Gaya geser akan dilawan oleh gaya gesek yang terjadi karena adanya gaya kebawah oleh berat struktur yang dikalikan dengan koefisien gesek tanah. Ilustrasinya akan dijelaskan oleh gambar berikut ini :



Gambar 4.8 Gambar gaya geser dan gaya gesek

Untuk memberikan rasa aman, maka gaya gesek dibanding dengan rasio gaya geser harus lebih besar atau sama dengan 1,2.

$$\frac{(FFrict)}{Fh} \geq 1,2 \quad (5.4)$$

Tabel 4.15 Tabel Analisa Sliding Stability

Tinggi <i>Support</i> (m)	Horizontal Force (Fh) dalam (N)	Friction Force (Fr) dalam (N)	Check
1,2	28272,14	37089,37	1,31
0,6	20297,48	28000,65	1,38
0,45	20467,60	29817,58	1,46
0,15	11587,69	15941,71	1,38

4.4 Analisa *Bearing Capacity*

Analisa *bearing capacity* dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah dalam menerima beban struktur di atasnya. Beban – beban tersebut bisa berupa beban vertikal dan beban akibat momen yang terjadi pada struktur. Pada kasus ini struktur yang berupa *support* tidak ditanam. Nilai safety factor untuk rasio q ultimate dibanding q harus lebih besar dari 3. Pada tabel berikut disajikan berapa nilai q dan nilai q ultimate yang terjadi pada struktur *support*.

Tabel 4.16 Tabel *Bearing Capacity*

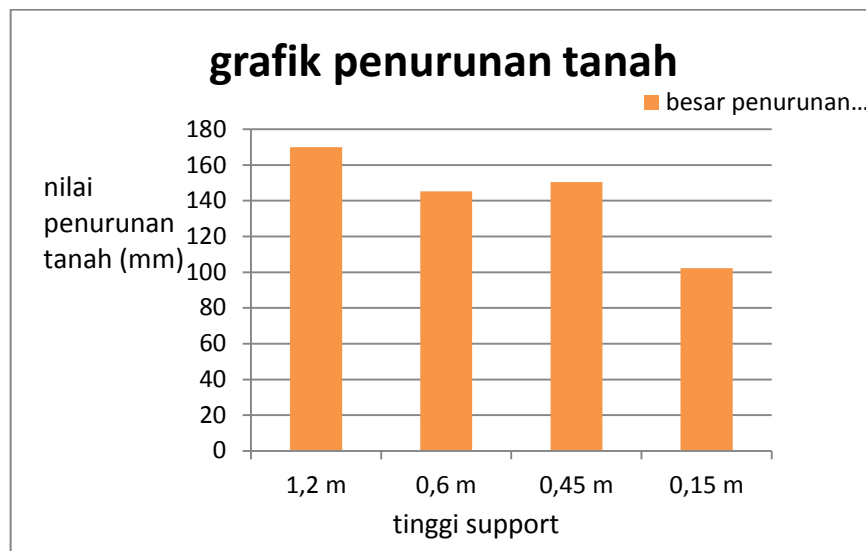
Tinggi <i>Support</i> (m)	q kN/m ²	q ultimate kN/m ²	Check SF > 3
1,2	7,32	27,58	3,77
0,6	5,53	27,58	4,99
0,45	5,88	27,58	4,69
0,15	3,15	27,58	8,77

Pada pengecekan safety factor, nilai yang terkecil adalah struktur *support* dengan berat tertinggi yaitu *support* dengan tinggi 1,2 meter.

4.5 Analisa Penurunan Tanah (*Settlement*)

Analisa *settlement* dilakukan untuk mengetahui jarak aman vertikal (*clearance*) pipa terhadap *existing line* di bawahnya. Analisa *settlement* terdiri dari analisa penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Analisa penurunan segera dilakukan karena tanah yang dikenai pembebanan awal akan mengalami deformasi elastis tanpa menyebabkan hilangnya muatan air yang terkandung dalam tanah tersebut. Analisa penurunan konsolidasi dilakukan karena tanah dikenai pembebanan berkelanjutan akan mengalami deformasi akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air melalui pori – pori tanah.

Total penurunan tanah yang terjadi pada *support* akan ditampilkan pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik penurunan tanah pada *support*

Pada grafik yang disajikan diatas, *support* yang mengalami penurunan tanah tertinggi adalah *support* dengan tinggi 1,2 m. Setelah mengetahui penurunan yang terjadi maka akan dilakukan cek dengan ketinggian dari *existing line* dibawahnya.

Tabel 4.17 Jarak dengan *existing line* pada lokasi *crossing*

Nama <i>Support</i>	Tinggi awal (mm)	Tinggi setelah penurunan (mm)	Jarak dari <i>existing line</i> (mm)
CM3 dan CM15	1200	1030,05	538,05
CM4 dan CM 16	1200	1030,05	538,05
CM 9	600	454,80	354,8
CM 10	600	454,80	354,8

Maka setelah dihitung, jarak aman antara pipa *existing* dengan pipa yang berada diatasnya masih dalam batas aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengerjaan Tugas Akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar gaya yang mengenai pipa masih memenuhi kriteria yang disyaratkan agar pipa dapat beroperasi. Untuk stabilitas vertikal pipa pada kondisi instalasi maupun operasi masih memenuhi *safety factor* yang ditentukan yaitu sebesar 2,24 dan 2,01. Pada stabilitas lateral, pipa juga masih dapat memenuhi *safety factor* yang paling kecil adalah 6,5 pada kondisi instalasi dan 1,3 pada kondisi operasi.
2. Stabilitas pada *support* pipa di lokasi *crossing* memenuhi kriteria keamanan dengan memenuhi *safety factor*. Kriteria stabilitasnya antara lain overturning moment dan sliding stability. Sliding stability menjadi titik kritis karena *safety factornya* mendekati nilai minimum.
3. Setelah dilakukan perhitungan untuk penurunan tanah, jarak aman (*clearance*) dari pipa ke pipa di atasnya sebesar 0,3 meter masih dapat terpenuhi.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Akibat adanya *support* pada lokasi *crossing*, maka timbul bentangan *span* yang perlu dianalisa baik statis maupun dinamis.
2. Perlu dilakukan perhitungan *fatigue* pada bentangan yang timbul akibat *crossing*.

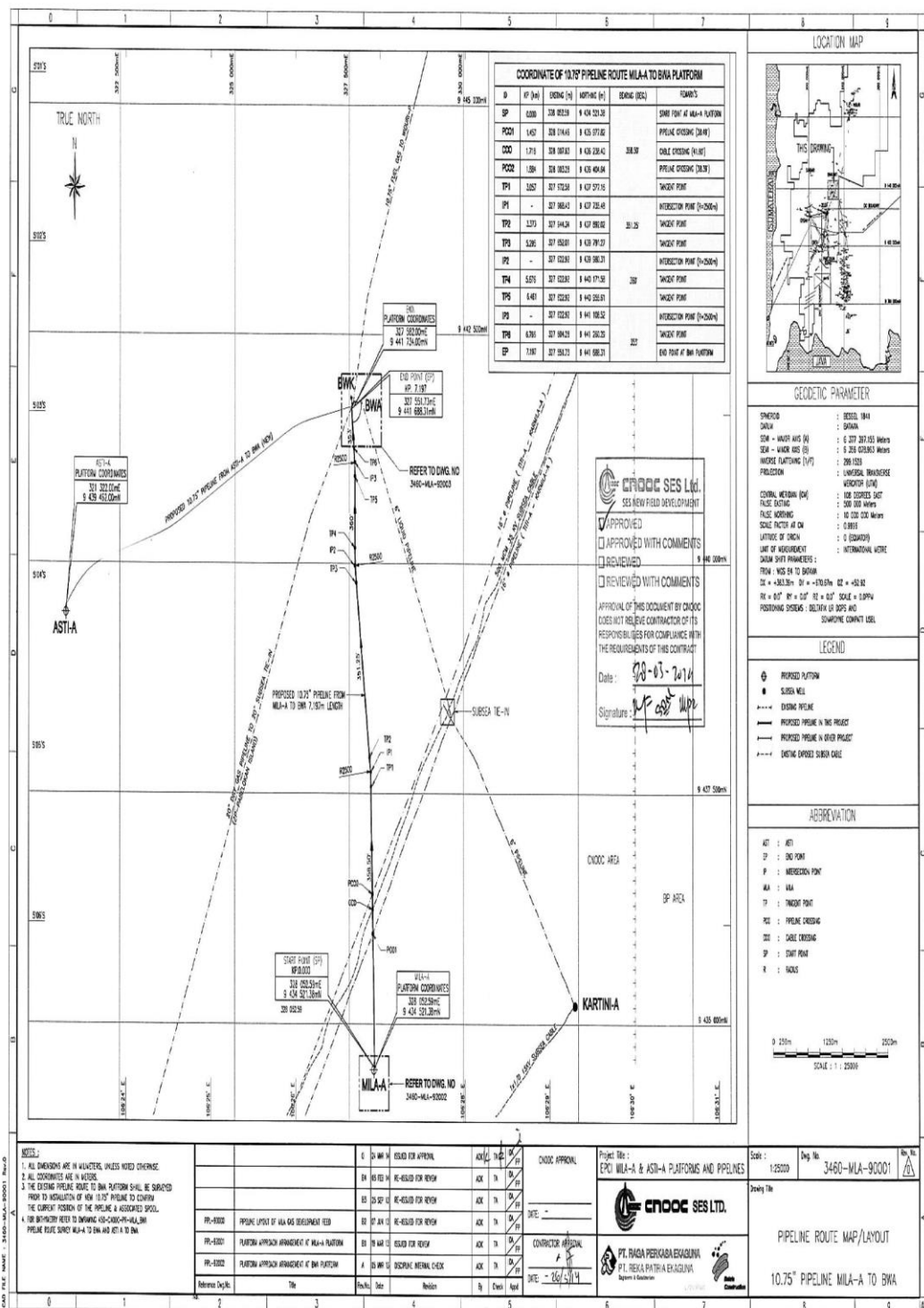
(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

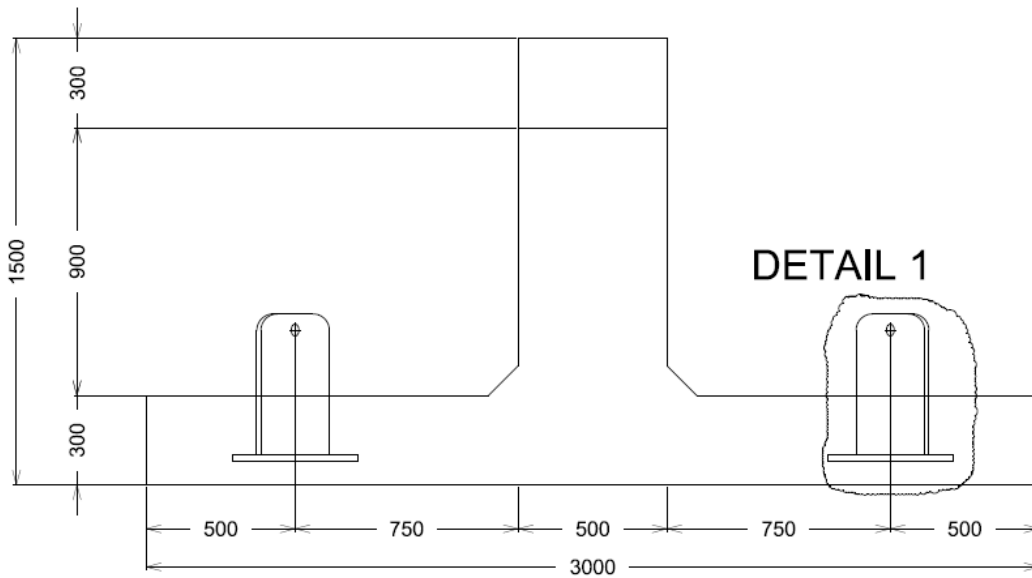
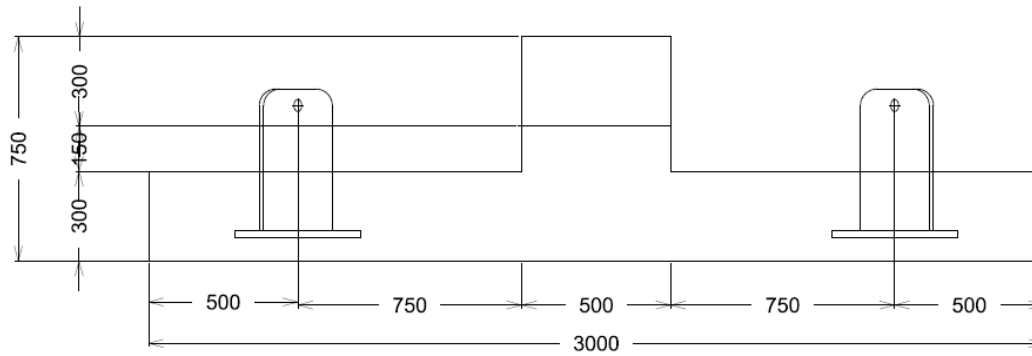
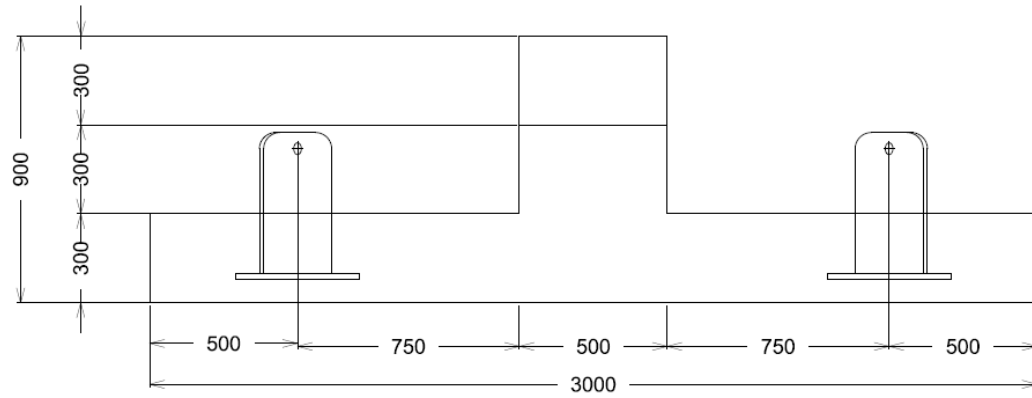
DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. 1997. *Foundation Analysis and Design*. Illinois, USA : The McGraw-Hill Companies.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Offshore Structure Analysis*. Illinois, USA : Elsevier.
- Christian, Fajar. 2009. *Studi Peluang Kegagalan Pipa Bawah Laut Akibat Ledakan Pipa Gas pada Kondisi Crossing*. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Djarmiko, Eko B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya. Itspress.
- Das, Braja.M. 1985. *Principles of Geotechnical Engineering*. Inggris. PWS Publisher.
- Det Norske Veritas. 2000. *DNV OS-F101*, Submarine Pipeline System. Norway.
- Det Norske Veritas. 2003. *DNV RP-C205*, Submarine Pipeline System. Norway.
- Det Norske Veritas. 2003. *DNV RP-H103*, Submarine Pipeline System. Norway.
- Godbold, Jol, Nicky Sackman, Liang Cheng. 2014. *Stability Design for Concrete Mattresses*. Proceeding of the 24th International Ocean and Polar Engineering Conference. Busan, Korea., 7:302-308.
- Hadihardaja, Joetata. *Rekayasa Fundasi II; Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam*. Jakarta : Universitas Gunadarma.
- Kenny, J P and Partner. 1993. *Structural Analysis of Pipeline Span*. Inggris. Health and Safety Executive.
- Mousselli, A.H. 1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Method*. Oklakoma : Pennwell.
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya : Airlangga University Press.

LAMPIRAN

LAMPIRAN GAMBAR





LAMPIRAN PERHITUNGAN

OD pipa	=	273,1 mm	0,273 m	g =	9,81
wall thickness	=	15,9 mm	0,0159 m		
concrete coating	=	90 mm	0,09 m		
concrete density	=	3043,5 kg/m3	29857 n/m3		
corr. coating	=	2,8 mm	0,0028 m		
corr. coating density	=	940 kg/m3	9221,4 n/m3		
steel density	=	7850 kg/m3	77009 n/m3		
pipe content density	=	1025 kg/m3	10055 n/m3		

Total OD	=	0,459 m
Inside Diameter	=	0,257 m
Concrete diameter	=	0,459 m
Area of steel	=	0,007 m2
corr. Coating weight	=	2,279 kg/m
concrete coating weight	=	272,281 kg/m
Massa pipa	=	51,939 kg/m
Internal cross section area	=	0,052 m2
massa konten fluida hydrote	=	53,186 kg/m
operasi	=	3,632 kg/m
Bouyancy	=	169,224 kg/m
F bouyancy	=	1660,086 n/m
Submerged weight installati	=	2064,629 n/m
operasi		1672,563 n/m
vertical stability ≥ 1,1	=	
installation	=	2,24
operasi	=	2,01

$$D = D_o + 2t_{cor} + 2t_c$$

$$D_i = D_o - 2t_{st}$$

$$Dc = D_o + 2t_{cor} + 2t_c$$

$$As = \pi/4 [Do^2 - Di^2]$$

$$w_{cor} = 22,36 \cdot \frac{\pi}{4} \rho_{cor} [(D_o + 2t_{cor})^2 - Di^2] g$$

$$w_{con} = 2671 \cdot \frac{\pi}{4} \rho_{cont} [(D_o + 2t_{cor} + 2t_c)^2 - (D_o + 2t_{cor})^2] g$$

$$w_{st} = 509,5 \cdot \frac{\pi}{4} \rho_{st} (D_o^2 - D_i^2) g$$

$$Ai = \pi/4 \cdot Di^2$$

$$wc = 521,8 \text{ mc} = Ai \cdot p_{cont}$$

$$wc = 129,7$$

$$B = \frac{\pi}{4} \rho_w [(D_o + 2t_{cor} + 2t_c)^2 - D_o^2] g$$

$$Ws = W_{st} + W_{cor} + W_c + W_{cont} - B$$

$$Ws + B / B \geq 1$$

instalasi
0,15 m

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D_t \cdot C_D \cdot U_{tot}^2 \qquad F_1 = \rho_w \cdot C_m \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] (du/dt) \qquad FL = \frac{1}{2} \rho_w C_L D U^2$$

total OD = 0,459

Viskositas : 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 2064,63 n/m

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

instalasi
0,15 m

sudut fase	u	du/dt	Ucurr	Re	Cd	Ci	Cl	Fd	Fi	Fl	SF
	m/s	m/s ²	m/s					N/m	N/m	N/m	
0	0,064	0,000	0,45	29565,53	1,3	1,5	2	80,92	0,00	124,50	24,0
10	0,063	0,014	0,45	29116,34	1,3	1,5	2	80,62	3,59	124,02	23,0
20	0,061	0,028	0,45	27782,42	1,3	1,5	2	79,71	7,07	122,62	22,4
30	0,056	0,041	0,45	25604,3	1,3	1,5	2	78,23	10,33	120,36	22,0
40	0,049	0,052	0,45	22648,19	1,3	1,5	2	76,25	13,28	117,31	21,7
50	0,041	0,062	0,45	19003,91	1,3	1,5	2	73,85	15,83	113,61	21,8
60	0,032	0,070	0,45	14782,22	1,3	1,5	2	71,11	17,90	109,40	22,0
70	0,022	0,076	0,45	10111,41	1,3	1,5	2	68,14	19,42	104,83	22,4
80	0,011	0,080	0,45	5133,397	1,3	1,5	2	65,04	20,35	100,07	23,0
90	0,011	0,081	0,45	4855,302	1,3	1,5	2	64,87	20,66	99,80	23,0

instalasi

0,45 m

total OD = 0,459

Viskositas = 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 2064,63 n/m

$$\frac{(W's-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

sudut fase	u	du/dt	Ucurr	Re	Cd	Ci	Cl	Fd	Fi	Fl	SF
	m/s	m/s ²	m/s					N/m	N/m	N/m	
0	0,065	0,000	0,45	29635,61	1,3	1,5	2	80,97	0,00	124,57	24,0
10	0,064	0,014	0,45	29185,36	1,3	1,5	2	80,66	3,60	124,10	23,0
20	0,061	0,028	0,45	27848,27	1,3	1,5	2	79,75	7,08	122,69	22,4
30	0,056	0,041	0,45	25664,99	1,3	1,5	2	78,27	10,36	120,42	21,9
40	0,049	0,052	0,45	22701,87	1,3	1,5	2	76,29	13,32	117,36	21,7
50	0,042	0,062	0,45	19048,96	1,3	1,5	2	73,88	15,87	113,65	21,7
60	0,032	0,071	0,45	14817,26	1,3	1,5	2	71,13	17,94	109,43	22,0
70	0,022	0,077	0,45	10135,37	1,3	1,5	2	68,15	19,46	104,85	22,4
80	0,011	0,080	0,45	5145,561	1,3	1,5	2	65,05	20,40	100,08	23,0
90	0,011	0,081	0,45	5003,1	1,3	1,5	2	64,96	20,71	99,94	22,9

instalasi

0,45 m

instalasi

0,6 m

total OD = 0,459

pw = 1025 kg/m3

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

Wsub = 2064,63 n/m

Viskositas = 0,000001

sudut fase	u	du/dt	Ucurr	Re	Cd	Ci	Cl	Fd	Fi	FI	SF
	m/s	m/s ²	m/s					N/m	N/m	N/m	
0	0,065	0,000	0,45	29696,98	1,3	1,5	2	81,01	0,00	124,64	23,9
10	0,064	0,014	0,45	29245,79	1,3	1,5	2	80,70	3,60	124,16	23,0
20	0,061	0,028	0,45	27905,94	1,3	1,5	2	79,79	7,10	122,75	22,3
30	0,056	0,041	0,45	25718,14	1,3	1,5	2	78,31	10,38	120,47	21,9
40	0,050	0,052	0,45	22748,88	1,3	1,5	2	76,32	13,34	117,41	21,7
50	0,042	0,063	0,45	19088,4	1,3	1,5	2	73,90	15,90	113,69	21,7
60	0,032	0,071	0,45	14847,94	1,3	1,5	2	71,15	17,98	109,46	21,9
70	0,022	0,077	0,45	10156,35	1,3	1,5	2	68,17	19,51	104,87	22,4
80	0,011	0,080	0,45	5156,212	1,3	1,5	2	65,06	20,44	100,09	23,0
90	0,010	0,082	0,45	4590	1,3	1,5	2	64,71	20,76	99,55	23,0

instalasi

0,6 m

instalasi

1,2 m

total OD = 0,459

Viskositas = 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 2064,63 n/m

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

instalasi
1,2 m

sudut fase	u m/s	du/dt m/s ²	Ucurr m/s	Re	Cd	Ci	Cl	Fd N/m	Fi N/m	FI N/m	SF
0	0,066	0,000	0,45	30118,92	1,3	1,5	2	81,30	0,00	125,08	23,9
10	0,065	0,014	0,45	29661,32	1,3	1,5	2	80,99	3,66	124,60	22,9
20	0,062	0,028	0,45	28302,43	1,3	1,5	2	80,06	7,20	123,17	22,2
30	0,057	0,041	0,45	26083,54	1,3	1,5	2	78,55	10,53	120,85	21,8
40	0,050	0,053	0,45	23072,09	1,3	1,5	2	76,53	13,53	117,74	21,6
50	0,042	0,063	0,45	19359,59	1,3	1,5	2	74,08	16,13	113,97	21,6
60	0,033	0,072	0,45	15058,88	1,3	1,5	2	71,29	18,23	109,67	21,8
70	0,022	0,078	0,45	10300,63	1,3	1,5	2	68,26	19,78	105,01	22,3
80	0,011	0,082	0,45	5229,447	1,3	1,5	2	65,10	20,73	100,16	22,9
90	0,000	0,083	0,45	-0,58274	1,3	1,5	2	61,93	21,05	95,27	23,7

instalasi

0 m

total OD = 0,459

Viskositas = 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 2064,63 n/m

$$\frac{(Ws-FI)u}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

sudut fase	u m/s	du/dt m/s ²	Ucurr m/s	Re	Cd	Ci	CI	Fd N/m	Fi N/m	FI N/m	SF
0	0,065	0,000	0,45	29635,61	1,3	1,5	2	80,97	0,00	124,57	7,2
10	0,064	0,014	0,45	29185,36	1,3	1,5	2	80,66	3,60	124,10	6,9
20	0,061	0,028	0,45	27848,27	1,3	1,5	2	79,75	7,08	122,69	6,7
30	0,056	0,041	0,45	25664,99	1,3	1,5	2	78,27	10,36	120,42	6,6
40	0,049	0,052	0,45	22701,87	1,3	1,5	2	76,29	13,32	117,36	6,5
50	0,042	0,062	0,45	19048,96	1,3	1,5	2	73,88	15,87	113,65	6,5
60	0,032	0,071	0,45	14817,26	1,3	1,5	2	71,13	17,94	109,43	6,6
70	0,022	0,077	0,45	10135,37	1,3	1,5	2	68,15	19,46	104,85	6,7
80	0,011	0,080	0,45	5145,561	1,3	1,5	2	65,05	20,40	100,08	6,9
90	0,011	0,081	0,45	5003,1	1,3	1,5	2	64,96	20,71	99,94	6,9

instalasi

0 m

operasi
0,15 m

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D_t \cdot C_D \cdot U_{tot}^2$$

$$F_I = \rho_w \cdot C_m \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] (du/dt)$$

$$FL = \frac{1}{2} \rho_w C_L D U^2$$

total OD= 0,459
Viskositas : 0,000001

pw = 1025 kg/m3
Wsub = 1672,56 n/m

$$\frac{(Ws-Fl)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

sudut fase	u	du/dt	Ucurr	Re	Cd	Ci	Cl	Fd	Fi	Fl	SF
	m/s	m/s ²	m/s					N/m	N/m	N/m	
0	0,772	0,000	0,5	354297,5	0,70	1,79	0,70	266,38	0,00	266,38	5,3
10	0,760	0,114	0,5	348797,7	0,70	1,80	0,70	261,39	34,96	261,39	4,8
20	0,724	0,225	0,5	332479,6	0,70	1,84	0,70	246,84	70,01	246,84	4,5
30	0,666	0,328	0,5	305879,7	0,70	1,89	0,70	224,03	105,09	224,03	4,4
40	0,588	0,421	0,5	269868,5	0,63	2,00	0,66	175,54	142,68	183,84	4,7
50	0,492	0,500	0,5	225616,8	0,78	2,00	0,75	179,92	169,43	173,17	4,3
60	0,380	0,563	0,5	174550,6	0,95	2,00	0,85	172,84	190,75	155,11	4,2
70	0,258	0,608	0,5	118298	1,14	2,00	0,96	153,39	206,03	130,12	4,3
80	0,128	0,634	0,5	58630,52	1,60	2,00	1,00	148,31	214,85	92,70	4,4
90	0,109	0,640	0,5	50031	1,30	2,00	1,50	113,42	217,06	130,87	4,7

operasi
0,15 m

operasi

0,45 m

total OD = 0,459

Viskositas : 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 1672,56 n/m

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

sudut fase	u m/s	du/dt m/s ²	Ucurr m/s	Re	Cd	Ci	Cl	Fd N/m	Fi N/m	FI N/m	SF
0	0,772	0,000	0,5	354490,6	0,70	1,79	0,70	266,56	0,00	266,56	5,3
10	0,760	0,114	0,5	348987,6	0,70	1,80	0,70	261,56	34,97	261,56	4,8
20	0,725	0,225	0,5	332660,1	0,70	1,83	0,70	247,00	70,03	247,00	4,5
30	0,667	0,328	0,5	306044,8	0,70	1,89	0,70	224,17	105,13	224,17	4,4
40	0,588	0,421	0,5	270013,1	0,63	2,00	0,66	175,50	142,76	183,87	4,7
50	0,492	0,500	0,5	225736,4	0,78	2,00	0,75	179,92	169,53	173,21	4,3
60	0,380	0,563	0,5	174641,6	0,95	2,00	0,85	172,86	190,86	155,14	4,2
70	0,258	0,608	0,5	118357,9	1,14	2,00	0,96	153,41	206,14	130,15	4,3
80	0,128	0,634	0,5	58657,88	1,60	2,00	1,00	148,34	214,97	92,71	4,3
90	0,108	0,641	0,5	49572	1,30	2,00	1,50	113,05	217,17	130,44	4,7

operasi

0,45 m

operasi

0,6 m

total OD = 0,459

Viskositas : 0,000001

pw = 1025 kg/m³

Wsub = 1672,56 n/m

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

operasi

0,6 m

sudut fase	u m/s	du/dt m/s ²	Ucurr m/s	Re	Cd	Ci	Cl	Fd N/m	Fi N/m	FI N/m	SF
0	0,773	0,000	0,5	354659,6	0,70	1,79	0,70	266,71	0,00	266,71	5,3
10	0,761	0,115	0,5	349153,8	0,70	1,80	0,70	261,71	34,98	261,71	4,8
20	0,725	0,225	0,5	332818	0,70	1,83	0,70	247,14	70,06	247,14	4,5
30	0,667	0,329	0,5	306189,4	0,70	1,89	0,70	224,29	105,16	224,29	4,4
40	0,589	0,421	0,5	270139,7	0,63	2,00	0,66	175,47	142,83	183,89	4,7
50	0,492	0,500	0,5	225841,1	0,78	2,00	0,75	179,92	169,61	173,24	4,3
60	0,381	0,563	0,5	174721,3	0,95	2,00	0,85	172,88	190,95	155,18	4,2
70	0,258	0,608	0,5	118410,3	1,14	2,00	0,96	153,44	206,24	130,17	4,3
80	0,128	0,634	0,5	58681,82	1,60	2,00	1,00	148,37	215,07	92,73	4,3
90	0,108	0,641	0,5	49572	1,30	2,00	1,50	113,05	217,27	130,44	4,7

operasi
1,2 m

total OD = 0,459

Viskositas 0,000001

pw = 1025 kg/m3

Wsub = 1672,56 n/m

$$\frac{(Ws-Fi)}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

sudut fase	u	du/dt	Ucurr	Re	Cd	Ci	Cl	Fd	Fi	FI	SF
	m/s	m/s ²	m/s					N/m	N/m	N/m	
0	0,775	0,000	0,5	355819,1	0,70	1,79	0,70	267,77	0,00	267,77	5,2
10	0,763	0,115	0,5	350294,2	0,70	1,80	0,70	262,74	35,06	262,74	4,7
20	0,727	0,226	0,5	333901,8	0,70	1,83	0,70	248,09	70,21	248,09	4,5
30	0,669	0,330	0,5	307181,4	0,70	1,89	0,70	225,12	105,41	225,12	4,4
40	0,590	0,423	0,5	271008,2	0,63	2,00	0,66	175,28	143,32	184,04	4,7
50	0,494	0,502	0,5	226559,2	0,77	2,00	0,75	179,93	170,18	173,45	4,3
60	0,382	0,565	0,5	175267,7	0,95	2,00	0,85	173,01	191,59	155,40	4,2
70	0,259	0,610	0,5	118769,9	1,13	2,00	0,96	153,59	206,92	130,35	4,3
80	0,128	0,636	0,5	58846,03	1,60	2,00	1,00	148,54	215,77	92,83	4,3
90	0,108	0,643	0,5	49572	1,30	2,00	1,50	113,05	217,97	130,44	4,7

operasi
1,2 m

operasi

0 m

total OD = 0,459

pw = 1025 kg/m³

$$\frac{(Ws-Fi)u}{Fd+Fi} \geq 1,1$$

Viskositas : 0,000001

Wsub = 1672,56 n/m

sudut fase	u m/s	du/dt m/s ²	Ucurr m/s	Re	Cd	Cl	Cl	Fd N/m	Fi N/m	Fi	SF
0	0,772	0,000	0,5	354273,4	0,70	1,79	0,70	266,36	0,00	N/m	
10	0,760	0,114	0,5	348774	0,70	1,80	0,70	261,36	34,95	261,36	1,6
20	0,724	0,225	0,5	332457	0,70	1,84	0,70	246,82	70,00	246,82	1,4
30	0,666	0,328	0,5	305859	0,70	1,89	0,70	224,01	105,08	224,01	1,3
40	0,588	0,421	0,5	269850,4	0,63	2,00	0,66	175,54	142,67	183,84	1,4
50	0,492	0,500	0,5	225601,9	0,78	2,00	0,75	179,92	169,42	173,17	1,3
60	0,380	0,563	0,5	174539,3	0,95	2,00	0,85	172,83	190,74	155,10	1,3
70	0,258	0,608	0,5	118290,5	1,14	2,00	0,96	153,38	206,01	130,12	1,3
80	0,128	0,634	0,5	58627,1	1,60	2,00	1,00	148,31	214,84	92,69	1,3
90	0,108	0,640	0,5	49572	1,30	2,00	1,50	113,05	217,04	130,44	1,4

operasi

0 m

$$C_d = \frac{2,2}{1,7} \quad F_{Ds} := 0,5 \cdot \rho_{sw} \cdot C_D \cdot V_{comb}^2 \cdot A_{support} \quad F_{Is} := \rho_{sw} \cdot V_{support} \cdot a_{wave} + \rho_{sw} \cdot C_M \cdot V_{support} \cdot a_{wave}$$

type support	A = B x H (m ²)	Fdrag	Hasil (N)	Finertia	Hasil (N)	FHs
1 (1,2m)	3,38	= 0,5 x 1025 x 2,2 x (0,775+0,5) ² x 3,38	6195,18	=(1025x7,802x0,775) + (1025x1,7x7,802x0,775)	16733,83	22929
3 (0,6m)	1,69	= 0,5 x 1025 x 2,2 x (0,773+0,5) ² x 1,69	3087,88	=(1025x5,556x0,773) + (1025x1,7x5,556x0,773)	11885,83	14973,70
2 (0,45m)	1,27	= 0,5 x 1025 x 2,2 x (0,772+0,5) ² x 1,27	2316,83	=(1025x6,005x0,772) + (1025x1,7x6,005x0,772)	12829,74	15146,57
4 (0,15m)	0,42	= 0,5 x 1025 x 2,2 x (0,772+0,5) ² x 0,42	766,20	=(1025x2,576x0,772) + (1025x1,7x2,576x0,772)	5503,65	6269,85

Pipe load		F drag	Hasil (N)	Finertia	Hasil (N)	FHp
1 (1,2m)	F x L span	= 11 x 267,77	2945,47	= 11 x 217,97	2397,67	5343,14
3 (0,6m)		= 11 x 266,71	2933,81	= 11 x 217,27	2389,97	5323,78
2 (0,45m)		= 11 x 266,56	2932,16	= 11 x 217,17	2388,87	5321,03
4 (0,15m)		= 11 x 266,38	2930,18	= 11 x 217,06	2387,66	5317,84

Total Horizontal Force (FH)	FHp + FHs (N)
1 (1,2m)	28272,14
3 (0,6m)	20297,48
2 (0,45m)	20467,60
4 (0,15m)	11587,69

Total Vertical Force (FV)	Support sub weight + Pipe Ver Force	Hasil (N)
1 (1,2m)	= 105239,23 + (1672,56 x 11)	123631,23
3 (0,6m)	= 74943,50 + (1672,56 x 11)	93335,5
2 (0,45m)	= 80999,94 + (1672,56 x 11)	99391,94
4 (0,15m)	= 34747,02 + (1672,56 x 11)	53139,02

support dengan tinggi 0,15 m

Dimensi Support

B =

L =

fric. Angle

soil layer depth

cohesion

bearing capacity factor

Shape factor

depth factor

soil bulk density

submerged soil weight

depth foundation

Effective overburden press

poisson ratio

Soil Modulus Elasticity

$$q_{ult} := C_a \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + \gamma_s \cdot d \cdot m \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma_s \cdot B \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q \quad q := \frac{F_V}{L \cdot B}$$
$$\begin{array}{l} 2,82 \text{ m} \\ 5,99 \text{ m} \\ 0 \\ 1 \text{ m} \\ 4,903 \text{ kPa} \\ 1 \\ 5,142 \\ 0 \\ 1 \\ 1,094 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 13,818 \text{ kN/m}^3 \\ 3,718 \text{ kN/m}^3 \\ 0 \text{ m} \\ 1,589 \text{ kPa} \\ 0,45 \\ 0,49 \text{ Mpa} \end{array}$$
$$\begin{array}{l} q_{ult} = 27,58108 \text{ kN/m}^2 \\ F_v = 53,13 \text{ kN} \\ q = 3,145313 \text{ kN/m}^2 \\ S_f > 3 => 8,768946 \\ \text{Short term settlement} \\ \text{length to width ratio} = 2,124113 \\ \text{dimensionless factor} = 0,784 \\ I_p := \frac{1}{\pi} \cdot m \cdot l \cdot \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m l^2 + 1}}{m l} \right) + \ln(m l + \sqrt{m l^2 + 1}) \\ \text{Long term settlement} \\ \text{layer thickness} \quad t_{\text{layer}} = 1000 \text{ mm} \\ \text{specific G} \quad SG = 2,63 \\ \text{void ratio} \quad e_0 = 3,05 \\ \text{Compression coefficient} \quad C_c = 0,976 \\ \text{consolidation depth} \quad z = 0,5 \text{ m} \\ z := \frac{t_{\text{layer}}}{2} \\ \text{Long settl} = 98,04463 \text{ mm} \\ \text{Total settl} = 102,3376 \text{ mm} \\ \text{Pressure increase} \\ \Delta p := \frac{F_V}{(B + z) \cdot (L + z)} \\ = 2,465795 \text{ kPa} \\ \text{Long term settlement} \\ \Delta h_{\text{long}} := \frac{C_c \cdot t_{\text{layer}}}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right) \end{array}$$

support dengan tinggi 0,45 m

Dimensi Support

B =

L =

fric. Angle

soil layer depth

cohesion

bearing capacity factor

Shape factor

depth factor

soil bulk density

submerged soil weight

depth foundation

Effective overburden press

poisson ratio

Soil Modulus Elasticity

$$q_{ult} := C_a \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + \gamma_s \cdot d_s \cdot m \cdot q \cdot S_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma_s \cdot B \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q$$
$$q := \frac{F_V}{L \cdot B}$$

2,82 m

5,99 m

0

1 m

4,903 kPa

qult =

Fv =

q =

Sf > 3 =>

27,58108 kN/m²

99,39 kN

5,88392 kN/m²

4,687535

fric. Angle

soil layer depth

cohesion

bearing capacity factor

Nq

Nc

Ny

Kp

Sc

Sq

Sy

1

5,142

0

1

1,094

1

1

Shape factor

depth factor

Kp

dc

dq

dγ

1

1

1

1

soil bulk density

submerged soil weight

depth foundation

Effective overburden press

poisson ratio

Soil Modulus Elasticity

γ

γsub

dm

p0

v

Es

13,818 kN/m³

3,718 kN/m³

0 m

1,589 kPa

0,45

0,49 Mpa

Long term settlement

Pressure increase

$$I_p := \frac{1}{\pi} \cdot m \cdot \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m l^2 + 1}}{m l} \right) + \ln(m l + \sqrt{m l^2 + 1})$$

$$\Delta h_{short} := \frac{q \cdot B \cdot \left(1 - \nu_{soil}^2 \right)}{E_s} \cdot I_p$$

$$\Delta p := \frac{F_V}{(B + z) \cdot (L + z)}$$

$$\Delta h_{long} := \frac{C_c \cdot t_{layer}}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

Short term settlement

length to width ratio

dimensionless factor

short settlement =

1

=

=

8,030845 mm

2,124113

0,784

t layer =

SG =

e0 =

Cc =

z =

1000 mm

2,63

3,05

0,976

0,5 m

z := $\frac{t_{layer}}{2}$

Long settl =

Total settl =

142,5178 mm

150,5486 mm

=

4,61275 kPa

Long term settlement

$$\Delta h_{long} := \frac{C_c \cdot t_{layer}}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

support dengan tinggi 0,6 m

Dimensi Support

B =

L =

fric. Angle

soil layer depth

cohesion

bearing capacity factor

Shape factor

depth factor

soil bulk density

submerged soil weight

depth foundation

Effective overburden press

poisson ratio

Soil Modulus Elasticity

$$q_{ult} := C_a \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + \gamma_s \cdot d_m \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma_s \cdot B \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q$$

$$q := \frac{F_V}{L \cdot B}$$

$$\Delta h_{short} := \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu_{soil}^2)}{E_s} \cdot I_p$$

$$I_p := \frac{1}{\pi} \left(m \cdot \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m^2 + 1}}{m} \right) + \ln(m \cdot 1 + \sqrt{m^2 + 1}) \right)$$

$$\Delta p := \frac{F_V}{(B + z) \cdot (L + z)}$$

$$\Delta h_{long} := \frac{C_c \cdot t_{layer}}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

$$q_{ult} := 27,58108 \text{ kN/m}^2$$

$$F_V = 93,33 \text{ kN}$$

$$q = 5,525166 \text{ kN/m}^2$$

$$S_f > 3 = >$$

$$4,991901$$

short settlement = 7,541189 mm

Short term settlement

length to width ratio = 2,124113

dimensionless factor = 0,784

$$I_p := \frac{1}{\pi} \left(m \cdot \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m^2 + 1}}{m} \right) + \ln(m \cdot 1 + \sqrt{m^2 + 1}) \right)$$

Long term settlement

layer thickness t layer = 1000 mm

specific G SG = 2,63

void ratio e0 = 3,05

Compression coeffisien Cc = 0,976

consolidation depth z = 0,5 m

Pressure increase

$$z := \frac{t_{layer}}{2}$$

Long settl = 137,6605 mm

Total settl = 145,2017 mm

Long term settlement

$$\Delta h_{long} := \frac{C_c \cdot t_{layer}}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right)$$

BIODATA PENULIS



Rizqi Hafidhuddin Zamani, lahir di Tulungagung pada tanggal 22 Mei. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD KHADIJAH 3 Surabaya, SMPN 1 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Kemudian pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS melalui program SNMPTN dan terdaftar dengan NRP. 4312100084. Semasa kuliah, penulis aktif dalam kepanitiaan kegiatan himpunan, seminar, dan pelatihan. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Gunanusa Utama Fabricators, Cilegon selama 2 bulan. Penulis menyelesaikan masa perkuliahan dengan menyelesaikan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan pendidikan strata 1 dengan mengambil judul “**Analisa Stabilitas Support pada Crossing Pipeline antara Pipa dari MILA-A ke Platform BANUWATI**”